



Diseño De Un Plan De Restauración Ecológica En La Mina El pantano En El Municipio De Samacá, Boyacá.

Lizeth Vanesa Vanegas Quesada

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá

Diseño De Un Plan De Restauración Ecológica En La Mina El pantano En El Municipio De Samacá, Boyacá.

Lizeth Vanesa Vanegas Quesada

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Liliana Figueroa

Línea de Investigación:
Gestión ambiental

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

A mis padres, mi tía, y mi hermano gracias por creer confiar y apoyarme en cada paso que doy, gracias por su esfuerzo por las lágrimas, por su paciencia, por su amor, por renunciar a sus sueños para poder cumplir los míos por sus enormes sacrificios, espero algún día poder recompensarlos. A dios por ser la fuerza que me guía y por darme una maravillosa familia. A José por impulsarme a seguir y estar para mí cuando más lo necesito.

Agradecimientos

Gracias a todos los docentes que estuvieron durante mi formación profesional, en especial a la profesora Liliana Figueroa por orientarme durante este proceso, por ser más que una profesora, por formar un equipo a mi lado, por compartir conmigo su experiencia y su conocimiento, infinitas gracias sin su ayuda no lo hubiera logrado.

Contenido

RESUMEN	5
PALABRAS CLAVE	5
ABSTRACT	5
KEYWORDS Soil, Coal, Mine, Quality of life, Ecological restoration.	6
1. INTRODUCCIÓN	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	9
3.1. Objetivo general:	9
3.2. Objetivos específicos:	9
4. JUSTIFICACIÓN	9
5.1. ANTECEDENTES	11
5.2. ESTADO DEL ARTE	12
5.3. MARCO CONCEPTUAL	17
5.4. MARCO TEÓRICO	18
5.5. MARCO NORMATIVO	23
5.6. MARCO GEOGRÁFICO	27
5.7. MARCO INSTITUCIONAL	30
6. DISEÑO METODOLÓGICO	31
6.1. ENFOQUE	31
6.2. ALCANCE	31
6.3. MÉTODO	32
6.4. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y VARIABLES	32
6.5. METODOLOGIA	35
6.5.1. TOMA DE MUESTRA:	36
6.5.3. ZONIFICACIÓN AMBIENTAL:	36
6.5.4. ENCUESTAS A LOS GRUPOS DE INTERÉS	37
6.5.5. DISEÑO DE UN PLAN DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	38
6. RESULTADOS	38
7. ANALISIS DE RESULTADOS	49
8. CONCLUSIONES	52
9. RECOMENDACIONES	53
10. BIBLIOGRAFIA	54

Lista de Figuras

figura 1 fases de un plan de restauración	15
figura 2 procedimiento en la restauración de suelos	16
Figura 3 aprovechamiento de terrenos (Instituto tecnologico GeoMinero de España)	20
Figura 4 acciones de restauración en paramos	22
Figura 5 Mapa de Boyacá tomado de Wikipedia	27
Figura 6 mapa municipio de Samacá obtenido de google maps	29
Figura 7 división veredal municipio de Samacá (Universidad Nacional De Antioquia, 2013)	29
Figura 8 mapa Mina El Pantano (google earth, s.f.).....	30
Figura 9 Organigrama Mina El Pantano.....	30
Figura 10 metodología usada para la toma de muestra (las imágenes aquí mostradas que no son de autoría propia, poseen una licencia de creative commons y son consideradas del dominio público).....	36
Figura 11 metodología usada para zonificación ambiental (las imágenes aquí mostradas que no son de autoría propia, corresponde a plataformas virtuales).....	37
Figura 12 metodología usada para la formulación y ejecución de encuestas	38
Figura 13 Mapa de las veredas pertenecientes al municipio de Samacá, (mapas tomados de (Ramos Moreno & Benitez Ramirez , 2016) y (E.S.E Hospital Santa Martha, 2015)	39
Figura 14 Georreferenciación de imágenes satelitales	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15 superposición de mapa de las veredas y las imágenes aéreas	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16 Ubicación Mina El Pantano parte norte de la vereda la Chorrera.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17 mapa final zonificación ambiental	41

Lista de tablas

Tabla 1 Marco normativo constitucional (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).....	23
Tabla 2 Marco normativo	24
Tabla 3 instrumentos, técnicas y variables	33
Tabla 5 resultados análisis del suelo	38
Tabla 6 Programa a desarrollar a corto plazo	41
Tabla 7 Programa a desarrollar a mediano plazo	44
Tabla 8 Programa a desarrollar a largo plazo	46

RESUMEN

En los últimos años la industria extractiva se convirtió en uno de los sectores productivos de mayor importancia para el desarrollo económico del país (Melo Ascencio, Peña Lizarazo, Rocha Gomez, & Torres Bobadilla, 2015). Para el 2017 la participación del carbón en el PIB minero en el período de enero a septiembre, ascendió a 65,67%, mientras que fue de 1,26% con respecto al PIB total (Ministerio de minas y energía, 2017). El departamento de Boyacá fue el tercer departamento con mayor producción de carbón, para el 2016, donde se obtuvo una extracción de 3.129.196 toneladas, según los históricos publicados por el ministerio de minas y energía, este contó con 39 municipios productores de carbón de los cuales Samacá fue el de mayor extracción, presentando una actividad minera extensiva, con aproximadamente 36 empresas encargadas de la explotación de carbón en el territorio; para el 2016 tuvo una extracción de 67.316 toneladas (Manrique Galvis & Perico Carvajal, 2017).

No obstante la actividad minera dentro del municipio generó suelos descubiertos en zonas rurales circundantes al casco urbano, que al estar expuestos entran en contacto con diferentes factores naturales como el viento y el agua, aumentando las concentraciones de material particulado en el aire y de diferentes metales en el agua causando afecciones respiratorias y cardiovasculares (Universidad Nacional, 2013; Acosta Bueno, 2016; Oyarzún G, 2010), además la pérdida de cobertura vegetal durante el proceso de adecuación y producción minera redujo la posibilidad de fijación de CO₂ (aminorando la capacidad de ser sumidero de carbón) provocando pérdidas de aporte de oxígeno, aumento de temperaturas, disminución de cauces de agua y de biodiversidad, entre otros aspectos (Álvarez Del Castillo & Agredo Cardona, 2013). El objetivo de este proyecto fue diseñar un plan de restauración ecológica en la mina de carbón “el pantano” ubicada en la vereda la Chorrera en el municipio de Samacá en el departamento de Boyacá. Este fue un estudio pionero que se realizó con el fin de proponer técnicas y métodos para restablecer los servicios ecosistémicos prestados por esta zona y su a vez mejorar la calidad de vida de la población circundante.

PALABRAS CLAVE

Suelo, Carbón, Mina, Calidad de vida, Restauración ecológica

ABSTRACT

In recent years the extractive industry has become one of the most important productive sectors for economic development in the country (Melo Ascencio, Peña Lizarazo, Rocha Gomez, & Torres Bobadilla, 2015). For 2017 The share of coal in mining GDP in the period January to September, amounts to 65.67%, while it is 1.26% of total GDP (Ministry of mines and energy, 2017). The department of Boyacá is the third department with the largest production of coal for 2016. The department had an extraction of 3129 thousand tons according to the historical reports published by the Ministry of Mines and Energy, this department has 39 coal producing municipalities of which the municipality of Samacá is the one of greater extraction presenting / displaying an extensive mining activity, with

approximately 36 companies in charge of the coal exploitation in this territory for the 2016 the municipality had an extraction of 67131640 tons (Manrique Galvis & Perico Carvajal, 2017). This activity results in soils discovered in rural areas surrounding the urban area, which when coming into contact with different natural factors such as wind and water, can increase the concentrations of particulate material in the air and different metals in the water causing conditions. Respiratory and cardiovascular diseases (National University of Antioquia, 2013; Oyarzún G, 2010; Acosta Bueno, 2016), in addition the loss of plant cover during the production process of coal reduces the possibility of CO₂ fixation causing losses of oxygen supply and reducing the capacity to be carbon sink, increase in temperatures, decrease of water channels and biodiversity among other aspects (Álvarez Del Castillo & Agredo Cardona, 2013). The objective of this project is to design an ecological restoration plan in the coal mine "el pantano" located in the la chorrera village in the municipality of Samacá in the department of Boyacá. This is a pioneering study that aims to propose techniques and methods to restore the ecosystem services provided by this area and to improve the quality of life of the surrounding population.

KEYWORDS

Soil, Coal, Mine, Quality of life, Ecological restoration.

1. INTRODUCCIÓN

En el primer congreso colombiano para la restauración ecológica realizado en el 2011 se definió la restauración ecológica como el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido y ha perdido su composición original de especies, su estructura y función y en consecuencia ya no prestan ningún tipo de servicio ecosistémico (Vargas Ríos & Reyes, 2011)

El municipio de Samacá se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá, cuenta con un área aproximada de 172.9 km² de los cuales 171.1 km² pertenecen al área rural y el resto al área urbana; el municipio cuenta con 12 veredas que se han visto afectadas por el constante crecimiento y desarrollo del sector minero tanto legal como ilegal. Es considerado la capital carbonífera del departamento ya que para 2016 aportó el 21,64% del carbón total (a nivel departamental) convirtiéndose en el municipio de mayor extracción en Boyacá; dentro del territorio municipal se cuenta con aproximadamente 36 empresas extractoras del mineral, y la importancia del municipio a nivel minero radica en que el carbón encontrado en la zona está catalogado como una de las grandes reservas y de mejor calidad del departamento descrito como carbón metalúrgico, sin embargo la tecnología de extracción y los métodos de recuperación de ecosistemas son muy deficientes y tienen varias consecuencias a nivel ecológico que conllevan a repercutir directamente en la salud de sus habitantes (Acosta Bueno, 2016; Manrique Galvis & Perico Carvajal, 2017).

Las minas abandonadas por culminación de ciclo productivo, derrumbes, explosiones y demás o con cierres inadecuados generan impactos tanto ecológicos como sociales; entre los que se destacan, alteraciones al paisaje, generación de desechos, contaminación del agua y el suelo, pérdida de vegetación, huecos, generación de vectores, aparición de enfermedades entre otros (Arango Aramburo & Olaya, 2012). Los planes de cierre de minas y recuperación

de áreas afectada están regulados por la ley 685 del 2001, “*Artículo 84. Programa de trabajos y obras, deberá incluir planes de Recuperación geomorfológica, paisajística y forestal del sistema alterado y planes de cierre*” no obstante, preexisten zonas donde se han cerrado o abandonado actividades mineras sin la revisión efectiva esto se debe a que son áreas de minería ilegal o simplemente a la falta de seguimiento y control de las autoridades competentes (Arango Aramburo & Olaya, 2012). Estos sitios permanecen como focos de contaminación provocando la baja capacidad de los suelos para regenerarse, almacenar agua y regular el ciclo hídrico, además la porosidad y capacidad de infiltración de los suelos también se ven afectadas a causa que esos son el resultado de la acción de la microflora y la edafofauna (Guerrero, 2009; Guerrero Useda & Pineda Acevedo, 2016). Conjuntamente la degradación de los ecosistemas debido a la minería generan problemas a la salud a las poblaciones de las áreas directamente impactadas, principalmente afecciones respiratorias (Oyarzún G, 2010; Arango Aramburo & Olaya, 2012). Las prácticas extractivas no sostenibles han acelerado la crisis ambiental debido a la reducción de diferentes servicios ambientales, como producción de agua y alimento, fijación de CO₂, biodiversidad, y principalmente presencia de cobertura vegetal que previenen erosión (Vargas Rios, 2011).

Es por esto que se vuelve de suma importancia la restauración ecológica, aunque existen otros métodos para subsanar los daños causados a los ecosistemas por acciones antrópicas como la rehabilitación y la recuperación, se usa la restauración ecológica asistida debido a que la minería deja paisajes deforestados y expone materiales que no son adecuados para el desarrollo de la vida, dificultando el establecimiento de flora nativa y colonizadora en estas áreas; por tanto la zona se vuelve inhóspita para la vida silvestre. Con el uso de esta técnica se avala el aumento de la biodiversidad y el recobro de los servicios ecosistémicos prestados por esta zona. La restauración favorecerá la recuperación de procesos ecológicos y garantizará el suministro de bienes y servicios ambientales básicos para el desarrollo económico y social, prevendrá catástrofes y asegurará el mantenimiento de la diversidad biológica y cultural (Arango Aramburo & Olaya, 2012; Vargas Rios & Reyes, 2011).

La mina base de estudio se denomina “el pantano”, es una mina artesanal que no cuenta con toda la documentación requerida, la ubicada en la vereda la chorrera, del municipio de Samacá, cuenta con un área de 821 metros cuadrados, actualmente la mina se encuentra en funcionamiento extrayendo carbón sin embargo su ciclo de vida está próximo a terminarse además por lo relatado por Antonio Gómez dueño de la mina se pudo determinar que esta no cuenta con un plan de restauración ecológica póstumo a su cierre (A. Gómez, comunicación personal, 13 de agosto de 2018).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se estima que el 86% de la población global vive en países que demandan más de la naturaleza de lo que sus ecosistemas pueden ofrecer. Las tasas de consumo ya superan el suministro de muchos recursos cruciales para la supervivencia, y son pocos los lugares que no cuentan con impactos ambientales generados por el hombre. En los últimos 50 años, el

60% de los servicios ecosistémicos mundiales se han degradado debido al aumento de la población mundial y el crecimiento económico (Hamere Yohannes, 2018). La degradación y destrucción de estos ecosistemas a causa de la realización de diferentes actividades antrópicas y prácticas no sostenibles ha acelerado la crisis ambiental, debido a la reducción de diferentes servicios ambientales prestados por los ecosistemas (Vargas Rios, 2011). Por tanto se ve la restauración ecológica como una estrategia de gestión crucial ya que permite mantener la composición, estructura y función del ecosistema (Apfelbaum, 2014).

En Colombia, en los últimos años, la industria extractiva se ha convertido en uno de los sectores productivos de mayor importancia para el desarrollo económico del país. Dentro del plan de desarrollo 2014-2018 el sector minero-energético jugó un papel clave ya que se vio como una herramienta que garantizó el desarrollo económico sostenido e inclusivo; su tarea fue asegurar que la economía tuviera fuentes de energía competitivas que le permitirían crecer y generar empleo, asimismo contribuir de forma directa en la reducción de la pobreza. Por otro lado, el sector generó importantes recursos para financiar las inversiones requeridas por la construcción de la paz, la educación y las políticas sociales en la lucha contra la desigualdad (Departamento Nacional de Planeación, 2014). La industria carbonífera está principalmente orientada a la exportación, a nivel mundial para el 2017 el país ocupó el cuarto puesto en exportación de este mineral (Agencia Nacional de Minería, 2017). Para el 2015 el país contaba con un total de 6.746 Mt de reservas probadas de carbón, de las cuales la mayoría (unas 6.366 Mt) correspondían a carbón de muy buena calidad en la categoría de antracita y bitumen (carbón para uso energético), equivalentes al 94% del total de las reservas del país (Melo Ascencio, Peña Lizarazo, Rocha Gomez, & Torres Bobadilla, 2015).

El aporte del departamento de Boyacá al sector minero fue de suma importancia, debido a que, fue el tercer departamento con mayor producción de carbón desde el 2009 hasta el primer trimestre del 2017 después de la Guajira y el Cesar, obteniendo un total de 256 mil millones de toneladas durante esta época. El departamento contó con 39 municipios productores de carbón de los cuales Samacá es el de mayor producción carbonífera, donde la actividad minera ocupó aproximadamente 153 hectáreas en el año 2000 convirtiéndose una de las principales actividades económica del municipio (Alcaldía Municipal de Samacá Boyacá, 2000; Manrique Galvis & Perico Carvajal, 2017).

El municipio de Samacá debido a la altura sobre el nivel del mar en la que se encuentra, debe presentar ecosistemas predominantes de Bosque Andino y páramo; sin embargo, el uso actual del suelo, ha adecuado las áreas rurales del municipio aminorando las zonas donde se pueden apreciar este tipo de ecosistemas. El problema principal que se afrontó es la degradación del ecosistema de bosque alto andino, por la actividad minera llevada a cabo en la Mina El Pantano, actualmente la mina no cuenta con un plan adecuado de cierre y recuperación ecológica; la presencia de esta mina en el sector ha generado una pérdida de servicios ecosistémicos de soporte, provisión y regulación ya que este terreno anteriormente era usado para el cultivo de diferentes legumbres, tubérculos y frutas, además se contaba con la presencia de diferentes especies arbustivas, así como de árboles (Cárdenas, J., comunicación personal, 13 de agosto de 2018).

El área propiedad de la mina abarca aproximadamente 821 metros cuadrados la adecuación de este terreno para la explotación de carbón deja como resultado suelos erosionados, que al exponerse a la lluvia reacciona causando la oxidación de minerales de sulfuro de metal; esta reacción libera hierro, aluminio, cadmio y cobre en el sistema de aguas circundante y puede contaminar el agua potable causando afecciones cardiovasculares (Acosta Bueno, 2016), igualmente en una superficie plana el golpeteo de las gotas de lluvia arroja las partículas de suelo al azar en todas las direcciones, en condiciones de pendiente inclinada más suelo es salpicado hacia abajo de ella incrementando la erosión del suelo (Morgan, 1986). Además las corrientes de vientos de la zona facilitan la dispersión de polvo, mp (material particulado) provenientes de estos suelos que podrían generar posibles enfermedades respiratorias (Oyarzún G, 2010). Las partículas de tamaños menores a 2,5 μm son respirables y tienen la capacidad de alojarse en los alvéolos del sistema respiratorio y presentar tiempos de residencia en la atmósfera de días y semanas (Universidad Nacional, 2013). Las afectaciones a la salud de la población por la presencia de minas en el sector se evidenciaron gracias al aumento de la mortalidad por enfermedades respiratorias agudas y relacionadas con el sistema circulatorio desde el 2005 al 2015 donde se evidencia un incremento de producción de carbón (anexo 7) (Borda Naranjo & Barrera Monroy, 2017; Acosta Bueno, 2016).

3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

3.1. Objetivo general:

Diseñar un plan de restauración ecológica en la mina de carbón el pantano ubicada en la Vereda La Chorrera en el Municipio de Samacá en el departamento de Boyacá

3.2. Objetivos específicos:

1. Analizar las características físicas y químicas del suelo para conocer el estado actual de la zona de estudio.
2. Identificar la composición florística de la Vereda La Chorrera por medio de la zonificación ambiental, con el fin de reconocer las zonas con presencia de comunidades vegetales.
3. Proponer actividades de restauración acorde a las características del suelo a corto, mediano y largo plazo

4. JUSTIFICACIÓN

La Mina El Pantano, dispuesta en la vereda la Chorrera en el municipio de Samacá, lleva un tiempo de explotación aproximado de 7 años. Por su ubicación geográfica esta zona correspondería a un ecosistema de Bosque Alto Andino(anexo 8) ya que estos ecosistemas se ubican por encima de los 1000 msnm., hasta un límite de 4000 msnm. La realización de esta actividad económica (minería) ha generado la pérdida paulatina de estos ecosistemas y de los servicios que estos prestaban (Ideam, 2001). Los Bosques andinos son importantes por abastecer de agua los ríos y quebradas, fertilizar los suelos, almacenar carbono, y garantizar la diversidad y el endemismo (Hoyos, 2017).

José Cárdenas, gerente de la mina desde su creación, asegura que los servicios ambientales donde se encuentra la mina disminuyeron en un 80% (anexo 1), ya que la aridez adquirida por la zona, después de su adecuación para la explotación minera, impidió el crecimiento de flora de manera natural, y ahora predominan las áreas desérticas, y el eucalipto el cual es usado para la construcción de minas artesanales (Cárdenas, J., comunicación personal, 13 de agosto de 2018)

En algunos estudios realizados por Arango (2012) y Acosta (2016), en el territorio nacional y en el departamento de Boyacá, se encontró que la minería genera diversas implicaciones a nivel ecológico, social y económico como la pérdida de biodiversidad, deterioro de los suelos, disminución de calidad de vida, y aumento de la inversión pública para el sector salud. Estos impactos perduran más allá de la vida útil de la mina y pone en riesgo la salud, calidad de vida o de bienes públicos o privados; y aunque los beneficios económicos generados por el sector minero son de suma importancia para el desarrollo del país, La Contraloría General de la Nación, indican que el impacto de la minería de carbón en el medio ambiente es considerable, y varía, dependiendo de diversos factores, como: si la mina es activa o abandonada, los métodos de extracción utilizados, las condiciones ecológicas, climáticas y geológicas de su ubicación, la cercanía a zonas urbanas, entre otros. Sin embargo, en todos los casos tendrá efectos lesivos en organismos vegetales, animales y en seres humanos, ya sea por destrucción del hábitat o por la liberación de contaminantes; en general, el espectro de impactos de la minería del carbón es en extremo complejo e incluye tanto problemas de contaminación, alteraciones en el paisaje, como enfermedades, incluso cuando el ciclo productivo haya finalizado (Contraloría General de la Republica, 2013)

La finalidad del proyecto es recuperar los servicios ecosistémicos prestados por la zona donde se encuentra ubicada la Mina El Pantano principalmente la cobertura vegetal para controlar la erosión, manejar inundaciones, y fijar de CO₂ (Vargas Ríos & Reyes, La restauración ecológica en la práctica, 2011). Además con el desarrollo del proyecto se efectuaría de manera acorde con la vocación del suelo que según la base de datos del IGAC esta sería suelo de conservación (anexo 9). El manejo de ecosistemas a través de restauración ecológica asistida, se ha convertido en una de las principales soluciones para transformar procesos de degradación de ecosistemas y pérdida de biodiversidad, ya que este tipo de restauración se dio principalmente en lugares que perdieron sus mecanismos de regeneración y en consecuencia es necesario asistirlo en su recuperación. Restaurar ecosistemas garantiza el desarrollo sostenible de la región, la sustentabilidad de sistemas naturales, y de esta forma asegurar la disponibilidad de servicios ecosistémicos, los cuales mantienen las economías funcionando (Vargas Rios, 2011). Debido a esto el diseño de un plan de restauración ecológica eficiente es crucial para permitir la mitigación de los impactos ecológicos y sociales adversos, donde se recuperen los terrenos y se les brinden alternativas económicas a los habitantes de la zona afectada logrando la sostenibilidad del municipio. En Colombia para el 2017 se restauraron 190.000 hectáreas afectadas por diferentes actividades antropicas, aportando a la economía nacional por medio de la generación de empleo, además se tienen cerca de 9.054 hectáreas en proceso de restauración en ecosistemas de bosque andino, bosque

altoandino y páramo (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015; Miniserio de medio ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

La importancia de los ingenieros ambientales dentro del ejercicio de restauración ecológica, radica en la visión holística; a partir de su formación profesional un ingeniero ambiental puede diagnosticar, prevenir, mitigar y corregir los impactos ambientales generados al medio ambiente, dando soluciones viables y sostenibles que permitan un desarrollo económico, ecológico y social de las zonas afectadas por acciones antrópicas. Los ingenieros ambientales tienen la capacidad de desarrollar políticas, sistemas, planes y modelos de gestión ambiental que respondan a las necesidades de la biodiversidad, los recursos hídricos y recursos ecológicos en general.

Para lograr el buen desarrollo de la restauración ecológica se requiere poner en práctica acciones que involucren diferentes áreas del conocimiento dando una contemplación amplia de las causas y los efectos producidos por la problemática analizada, donde se incluyan y se tomen en cuenta los saberes de los grupos de interés para dar medidas de compensaciones factibles que no impliquen un costo elevado y de esa forma se haga partícipes a la comunidad en un proceso de restauración sostenible. como ingeniera ambiental de la universidad el bosque estoy en la capacidad de desarrollar estrategias de gestión que respondan a las diversas necesidades ambientales actuales con el fin de mejorar la calidad de vida de una comunidad dándole la gestión adecuada a los procesos de degradación y perdida de servicios ecosistemicos presentes en la zona cumpliendo a cabal con la normatividad que rige en el país.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. ANTECEDENTES

El plan de restauración ecológica se define como las acciones coordinadas, que dan respuestas a procesos de degradación por medio de la gestión y el manejo de los ecosistemas; este proceso nace de la necesidad de restablecer los ecosistemas degradados y prevenir futuros daños, además dará como resultado un ecosistema autosostenible, garantizando la conservación de las especies y la prevalencia futura de los bienes y servicios ofrecidos por el sistema natural. En este caso el ecosistema debe regresar a una condición similar a como se encontraba antes de la degradación (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015).

En Colombia la restauración ecológica nació en el país a mitad del siglo XX y se centraba en la recuperación de ecosistemas boscosos para la protección de cuencas hidrográficas, a partir de allí se publicaron documentos complementarios que contribuyeran al conocimiento sobre restauración ecológica del país: el primero de ellos fue el Plan Estratégico para la Restauración Ecológica y el Establecimiento de Bosques en Colombia, El siguiente fue el denominado Plan Verde, preparado por el Ministerio de Medio Ambiente y aprobado por el Consejo Nacional Ambiental. Para el 2012 como mínimo se habían iniciado o ejecutado 185 proyectos de restauración de ecosistemas terrestres, el 77 % habían sido iniciados y financiados por entidades de Gobierno; la gran mayoría en bosques andinos, obedeciendo a un interés por la protección del recurso hídrico (Murcia, Guariguata, Peralvo, & Gálmez,

2017). Aunque existen otros métodos para subsanar los daños causados a los ecosistemas por acciones antrópicas como la rehabilitación y la recuperación, la restauración ecológica es el método más usado dentro del país debido a que esta técnica además de ser efectiva garantiza el aumento de la biodiversidad de la zona y los lugares aledaños para recobrar la oferta de los servicios ecosistémicos (Vargas Rios, 2011). La restauración nos permite recobrar la productividad de los suelos y la adecuar de vegetación nativa o existente, de tal manera que se reestablezca la salud del ecosistema, mitigando los impactos generados por las actividades antrópicas (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2014). r

La restauración ecológica en minería subterránea es un tema poco tratado a nivel mundial, sin embargo, se cuenta con un estudio realizado en China titulado “Ecological restoration of abandoned mine land in China”, siendo este un estudio enfocado a la restauración de minas de carbón subterránea. No obstante, en Colombia no se cuentan con estudios enfocados a la minería subterránea por lo que se considera este como un estudio pionero sin embargo en el país se han logrado diversos avances en los procesos de restauración ecológica en minería de carbón a cielo abierto en suelos de bosque andino, allí se han implementado diversas técnicas para la restauración de estos ecosistemas (Gil Mateus, 2017).

5.2. ESTADO DEL ARTE

Los planes de restauración ecológica son una herramienta gestión que permiten mitigar los impactos generados por actividades antrópicas en los diferentes ecosistemas. Con el paso de los años este tipo de estrategias va tomando fuerza e interés por su impacto positivo dentro de la recuperación de servicios ecosistémicos, la importancia de esta herramienta se demostró mediante los estudios descritos a continuación (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015).

Para iniciar, el primer documento en alimentar esta sección es proveniente de China y se titula “*Ecological restoration of abandoned mine land in China*” el objetivo principal del artículo fue mostrar el progreso teórico y técnico de la restauración ecológica en minas de carbón abandonadas. Dentro de este informe es considerada la restauración como fundamental para recuperar sistemas ecológicos perturbados o dañados por minera; la restauración ecológica es un problema de sistema complejo dentro de la ingeniería, ya que relaciona diversas disciplinas tales como la ecología, la geología, la minería, el suelo, el medio ambiente, la estética, la agronomía, la geografía, entre otros (Zhenqi, Peijun, & Jing, 2012).

Las teorías que se manejan dentro del artículo proponen cinco principios de reconstrucción ecológica de minas abandonadas a partir de las perspectivas de ecología del paisaje desde: El principio de imitación del prototipo natural, the principle of spots gallery base relations, el principio de diversidad y heterogeneidad, el principio de la combinación de condiciones externas y el principio de simbiosis de control biológico del hombre y la naturaleza. Estos principios según los autores mencionados en el artículo favorecerán la estructura y geología del suelo ya que tras la extracción subterránea de la veta de carbón la corteza terrestre sufre

deterioro, generando un movimiento descendente y una flexión del suelo expandiendo el área superficial de afectación y los estratos afectados por este tipo de minería, cuando la tensión de tracción interna excede el límite de resistencia a la tracción de estrato rocoso causa el hundimiento de la tierra y se le denomina "tierra de subsidencia minera" (Zhenqi, Peijun, & Jing, 2012)

Los estudios realizados a estos suelos afectados por la minería de carbón subterránea, revelaron un cambio en la productividad de la tierra y en el rendimiento de los cultivos durante tres años consecutivos; estos resultados se obtuvieron utilizando un método matemático para evaluar la productividad de forma cuantitativa. Además, se demostró que las propiedades físicas del suelo tales como su densidad aparente y porosidad, se vieron afectadas por la minería, pero no las propiedades químicas, con excepción de la conductividad. Asimismo, se vio una disminución sobre la biomasa microbiana causando un impacto directo en la cantidad y calidad de suelo, así como sobre el paisaje y el agua al afectar la supervivencia y el crecimiento de la vida silvestre (Zhenqi, Peijun, & Jing, 2012).

Para cumplir con la restauración y los principios de ecología del paisaje propuestos al inicio del artículo, se han diseñado patrones ecológicos a nivel macro que crearan condiciones ecológicas adecuadas en el nivel micro, mejorando las micorrizas y otros microorganismos en suelo que promueven la recuperación de la vegetación y juegan un papel importante en el mantenimiento de la estabilidad de los ecosistemas. En China se ha formado la recuperación de tierras con la bomba de lodo que niveló los terrenos y aportó los niveles necesarios de nutrientes a áreas con suelos pobres. Para concluir el artículo nos indicó que la clave de la restauración ecológica de las tierras de minas abandonadas es la gestión y la planificación (Zhenqi, Peijun, & Jing, 2012).

Este estudio de investigación aportó un conocimiento más profundo sobre la estabilización estructural de socavones, así como, técnicas para incrementar el aporte nutricional del suelo que permitieron el éxito de la restauración ecológica.

El artículo titulado ***“planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones”*** escrito por Méndez y compañía, tuvo como objetivo el análisis de los diferentes planes de restauración ecológica existentes en los países latinoamericanos con el fin de responder las siguientes preguntas; ¿Cuáles de los países comprometidos con alguna iniciativa de restauración cuentan con un plan? ¿Cuáles son los avances y omisiones de los planes de restauración ecológica existentes en Latinoamérica? El estudio permitió identificar 13 países latinoamericanos que se comprometieron a restaurar sus ecosistemas ante la Iniciativa 20x20 (WRI) y el Reto de Bonn, de los cuales solo 3 países cuentan con plan de restauración ecológica y 1 está en proceso de construcción, cabe resaltar que Colombia es el único país que cuentan con un plan de restauración para diversos tipos de ecosistemas, los demás se enfocan exclusivamente a ecosistemas forestales.

Para la identificación de los planes de restauración actuales presentes en Latinoamérica se usó el motor de búsqueda de Google en cada plan se buscaron elementos esenciales de planificación fundamentales que debe tener un proyecto de restauración y se describen a continuación:

1. La priorización de áreas de restauración es un componente fundamental de la planeación de cualquier proyecto a gran escala
2. Establecimiento de acciones y metas para la implementación de la restauración y evaluación del progreso en el corto, mediano y largo plazo
3. Evaluación y monitoreo del avance de la restauración
4. Participación de actores locales y la consideración de sus conocimientos y valores.

Entre los resultados obtenidos se destacan la preocupación general por la recuperación de servicios ecosistémicos y el manejo sustentable de los ecosistemas, además los planes realizados a nivel municipal deben contener las medidas necesarias para la conservación de la vegetación nativa remanente y la recuperación de áreas degradadas existentes en el territorio a restaurar; asimismo la ausencia de planes y protocolos de monitoreo disminuye el éxito de la restauración ecológica. Los planes examinados constituyen un gran paso en materia de restauración de ecosistemas. Su implementación permitirá la recuperación de grandes extensiones de tierras degradadas y deforestadas en los próximos años. Asimismo, son un instrumento fundamental para cumplir con los compromisos internacionales encaminados a la restauración de ecosistemas (Méndez, Martínez, Ceccon, & Guariguata, 2017).

El aporte realizado por Méndez y compañía al presente trabajo se evidencian en la construcción del plan de restauración para la Mina El Pantano, donde se implementan los elementos descritos por el artículo como necesarios en los proyectos de restauración ecológica.

A nivel nacional, Colombia cuenta con un plan de restauración denominado ***“Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas”*** en este se especifican los tipos de transformaciones sufridos en los ecosistemas por diferentes factores tanto antrópicos como biológicos naturales, el texto consultado también especifica las etapas de un proyecto de restauración. El objetivo de este documento orientar y promover procesos integrales de restauración ecológica que busquen recuperar las condiciones de los ecosistemas como su estructura, su composición o sus funciones y garantizar la prestación de servicios ecosistémicos en áreas degradadas de especial importancia ecológica para el país.

El documento consultado se enfoca en 3 fases principales la investigación, desarrollo y consolidación de protocolos; así como la articulación y divulgación de la información sobre restauración ecológica; la segunda se enfoca en la articulación de actores relacionados con la restauración ecológica, identificación y promoción de incentivos e implementación de proyectos piloto; finalmente, en la tercera fase se implementarán procesos de restauración a gran escala, basados en las experiencias exitosas de la fase dos, y se implementará la estrategia nacional de monitoreo a la restauración ecológica. La finalidad del documento es servir como instrumento de implementación de la política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, la ocupación del territorio en Colombia ha obedecido a factores y dinámicas (económicas, sociales, políticas y aún religiosas) que, en muchos casos, ha llevado a generar procesos productivos poco sostenibles, a la degradación, fraccionamiento y pérdida de los ecosistemas naturales. La degradación y pérdida de estos

ecosistemas naturales ha producido la pérdida parcial o total de los servicios ecosistémicos (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015).

La estructura del Plan Nacional de Restauración (2015 – 2035) se desarrollará teniendo en cuenta las directrices establecidas en los objetivos específicos, mediante la ejecución de acciones puntuales en tiempos definidos. De esta forma, se proponen tres fases sobre las cuales se consolidan los principales esfuerzos que deberán ser ejecutados en un plazo de 20 años (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015)

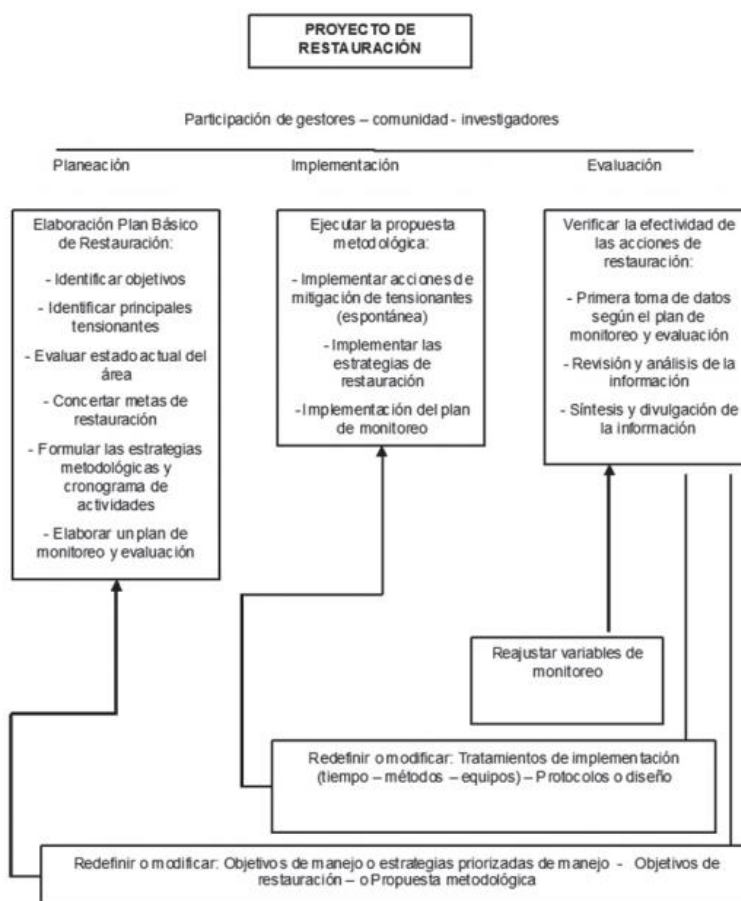


figura 1 fases de un plan de restauración

Dentro de las principales estrategias de restauración de uso común se destaca: los encerramientos del bosque, enriquecimiento y suplementación del bosque, conectividad a través de cercas vivas, rescate de plántulas, entre otras. Estas tácticas son sencillas, prácticas, de fácil aplicación, económicas, de efectos verificables, y efectivas desde lo biológico y lo socioeconómico. Las estrategias de restauración diseñadas y establecidas tienen tres objetivos principales: incremento y mejoramiento del hábitat, incremento de la conectividad, y conservación de la biodiversidad (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015).

El proyecto desarrollado logrará alcanzar la primera fase de la restauración ecológica (planificación); el plan anteriormente descrito servirá como base para fortalecer y efectuar

los procedimientos realizados dentro del proyecto, otorgando herramientas factibles para el desarrollo de la metodología y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

El Bosque Alto Andino es el ecosistema al que pertenece el área de la Mina El Pantano debido a que la altura a la que se encuentra la zona de estudio es de 2800 msnm. La recuperación de estas áreas en Colombia se ha visto orientada por ***“Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque alto andino”***, allí se explica que la Restauración Ecológica es el campo de estudio que provee las bases científicas y metodológicas que fundamentan la práctica de la Ecología de la Restauración. Como disciplina científica tiene unos principios generales que se aplican a cualquier ecosistema. Es una disciplina multidimensional que abarca tanto las ciencias naturales y las ciencias sociales para buscar la sostenibilidad de los ecosistemas naturales, seminaturales y sistemas de producción. Esto implica restaurar la integridad ecológica de los ecosistemas (composición de especies, estructura y función).

Los ecosistemas regeneran por si solos cuando no existen barreras que impidan esta regeneración, lo cual se denomina restauración pasiva (sucesión natural). En otras palabras, la restauración pasiva se refiere a que en un ecosistema degradado al eliminar los factores tensionantes o los disturbios que impiden su regeneración, se restaurará solo. Cuando los ecosistemas están muy degradados no pueden regenerarse solos, es muy lenta su regeneración o se desvía o detiene su dinámica natural; por consiguiente, es necesario implementar estrategias para lograr su recuperación, lo cual se denomina restauración activa o asistida (sucesión dirigida o asistida). En la restauración activa es necesario ayudar o asistir al ecosistema para garantizar que se puedan desarrollar procesos de recuperación en sus diferentes fases y superar las barreras que impiden la regeneración (Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2007); para la restauración activa se propone el siguiente procedimiento:

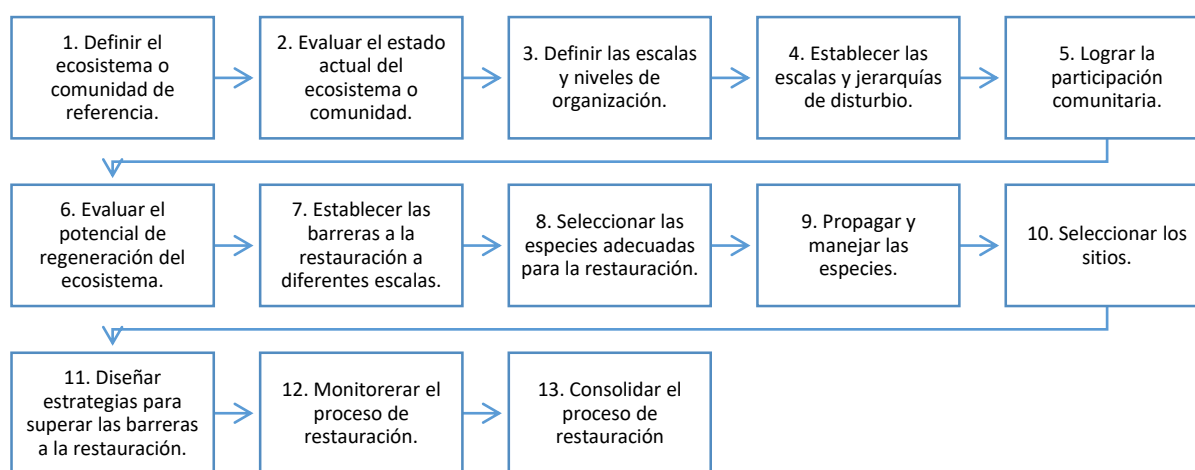


figura 2 procedimiento en la restauración de suelos

El aporte realizado por el documento aparte de un conocimiento más profundo sobre la problemática abordada y la metodología técnica más adecuada, explica métodos para

recolectar información primaria relevante para la investigación como la vegetación nativa de la zona y los antecedentes ecosistémicos del mismo.

5.3. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se enunciarán las principales definiciones de los conceptos usados dentro de la investigación, para dar completa claridad a los lectores sobre su significado y su importancia en el proyecto.

La Mina El Pantano es un yacimiento de **“carbón”** el cual se caracteriza por ser un sólido oscuro, estratificado y combustible, resultado de la acumulación y enterramiento de materia vegetal desde las primitivas eras geológicas. Estos depósitos se convierten en carbón a través de unos cambios biológicos iniciales y posteriores efectos mecánicos de presión y temperatura en el seno de los sedimentos (Cortes). Este carbón en el municipio es utilizado para la obtención de **“coque metalúrgico”** que es el residuo sólido que se obtiene a partir de la destilación destructiva, o pirolisis, de determinados carbones minerales, como las hullas (o carbones bituminosos) que poseen propiedades coquizantes; es decir capacidad de transformarse en coque después de haber pasado por una fase plástica (Protección Católica De Mexico, 2014).

Para lograr la extracción de este material se debe retirar la **“cobertura vegetal”** de la zona que se va a explotar; la cual es la expresión integral de la interacción entre los factores bióticos y abióticos sobre un espacio determinado, es decir es el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos biológicos vegetales característicos, los cuales conforman unidades estructurales y funcionales (Subgerencia Cultural del Banco de la República, 2015), la adecuación de estos **“ecosistemas”** (el cual se define como un área de cualquier tamaño, con una estrecha relación o asociación de sus componentes físicos (abióticos) y biológicos (bióticos) y organizado de tal manera que si cambia un componente, o subsistema, cambian los otros componentes y en consecuencia el funcionamiento de todo el ecosistema (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012)) para la extracción de materiales deja como resultado **“suelos”** expuestos que son el medio natural para el desarrollo de vegetación, ya sea que tenga o no horizontes discernibles (departamento de agricultura a nivel sostenibel - servicios de conservación de recursos naturales , 2014).

Estos suelos empiezan un proceso de **“erosión”** el cuales un desgaste de una superficie producido por fricción o roce, Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento (Word Reference , s.f.). Generando una **“alteración en el hábitat”** de muchas especies de flora y fauna, nativa y adoptiva de la zona este término se define como un cambio en la estructura del territorio generando paisajes heterogéneos (Santos & Tellería, Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies, 2006), causando una pérdida de **“biodiversidad”** que se refiere a la variedad de especies de flora, fauna y otras formas de vida presentes en la zona. Esta biodiversidad comprende no tan solo los diferentes biomas y ecosistemas, sino también la variedad de especies presentes en los mismos y la diversidad genética que existe entre los miembros de cada especie (Bird & Molinelli, 2001). Por esto la importancia de la **“restauración ecológica”** la cual se ve como una estrategia de gestión que permite mantener la composición, estructura y función del

ecosistema, dando así un nuevo uso a la zona perturbada que a su vez beneficie a la población afectada por la misma (Apfelbaum, 2014).

5.4. MARCO TEÓRICO

Dado que la finalidad de este proyecto es diseñar un plan de restauración ecológica, los documentos y textos que alimentan esta unidad estarán enfocados en aportar y apoyar los resultados obtenidos durante el desarrollo de este; el uso de material nacional e internacional que aporta teorías validas se mostraran y rescataran a continuación de manera concreta, pero detalla, empezando por un documento de origen español y finalizando por teorías de origen colombiano.

El primer aporte lo realiza el instituto tecnológico GeoMinero de España, este lo hace a partir de un manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minera; para empezar, se habla de estabilizar el terreno, cuando los terrenos superficiales bajo los cuales se hallan los minados van a destinarse a un uso que exige unas garantías de estabilidad se deberá proceder a la consolidación de los huecos y macizos afectados, así como a la clausura de todos los accesos. Los objetivos que persiguen los tratamientos de consolidación son básicamente dos: mejorar las características portantes de los terrenos y reducir el riesgo de migración de los huecos. Si durante la explotación no se ha procedido al relleno de los huecos, en la mayoría de los casos, los antiguos minados son inaccesibles, por lo que la consolidación debe efectuarse mediante inyección, a través de barrenos perforados (Instituto tecnologico GeoMinero de España).

Las operaciones extractivas constituyen un uso temporal de los terrenos, con períodos de ocupación que con frecuencia no superan los 20 o 30 años, salvo casos especiales como son los grandes yacimientos metálicos. Es por esto por lo que el abandono de tales áreas se debe hacer de una manera juiciosa y responsable, máxime con la creciente concienciación de la sociedad, en general, de que la calidad de vida. Pasa por un aprovechamiento racional de todos los recursos de la tierra (Instituto tecnologico GeoMinero de España).

El objetivo de la recuperación es restituir la posibilidad de que el terreno alterado vuelva a ser Útil para un determinado uso, sin perjudicar el medio ambiente. Cualquiera que sea el uso adoptado en la recuperación deberá ajustarse a las necesidades de la zona y su entorno, y deberá ser compatible con los usos ahí existentes. De esta forma, en unos casos se podrá recuperar el uso original perdido, mientras que en otros, puede resultar más interesante el establecimiento de uno nuevo. Este comportamiento va a dar lugar a una terminología diferente en lo que respecta al concepto de recuperación de zonas degradadas (Instituto tecnologico GeoMinero de España).

Si lo que se pretende tras la explotación minera es volver a dar a los terrenos el mismo uso que tenían con una reduplicación exacta de las condiciones originales, se hablará entonces de una “Restauración” propiamente dicha, y cuando se pretende conseguir un aprovechamiento nuevo y sustancialmente diferente al anterior, los terrenos tendrán que ser rehabilitados, recuperados (Instituto tecnologico GeoMinero de España).

Los usos posibles a que pueden destinarse los terrenos afectados por las explotaciones mineras pueden dividirse en:

- Urbanístico e industrial.
- Recreativo intensivo y deportivo.
- Agrícola.
- Forestal.
- Recreativo no intensivo y educacional.
- Conservación de la Naturaleza y refugio ecológico.
- Depósitos de agua y abastecimiento a poblaciones.
- Vertederos de estériles y basuras.

A continuación se refleja una primera guía de las posibilidades de aprovechamiento de los terrenos, en función únicamente de las características físicas de las explotaciones mineras (Instituto tecnologico GeoMinero de España):

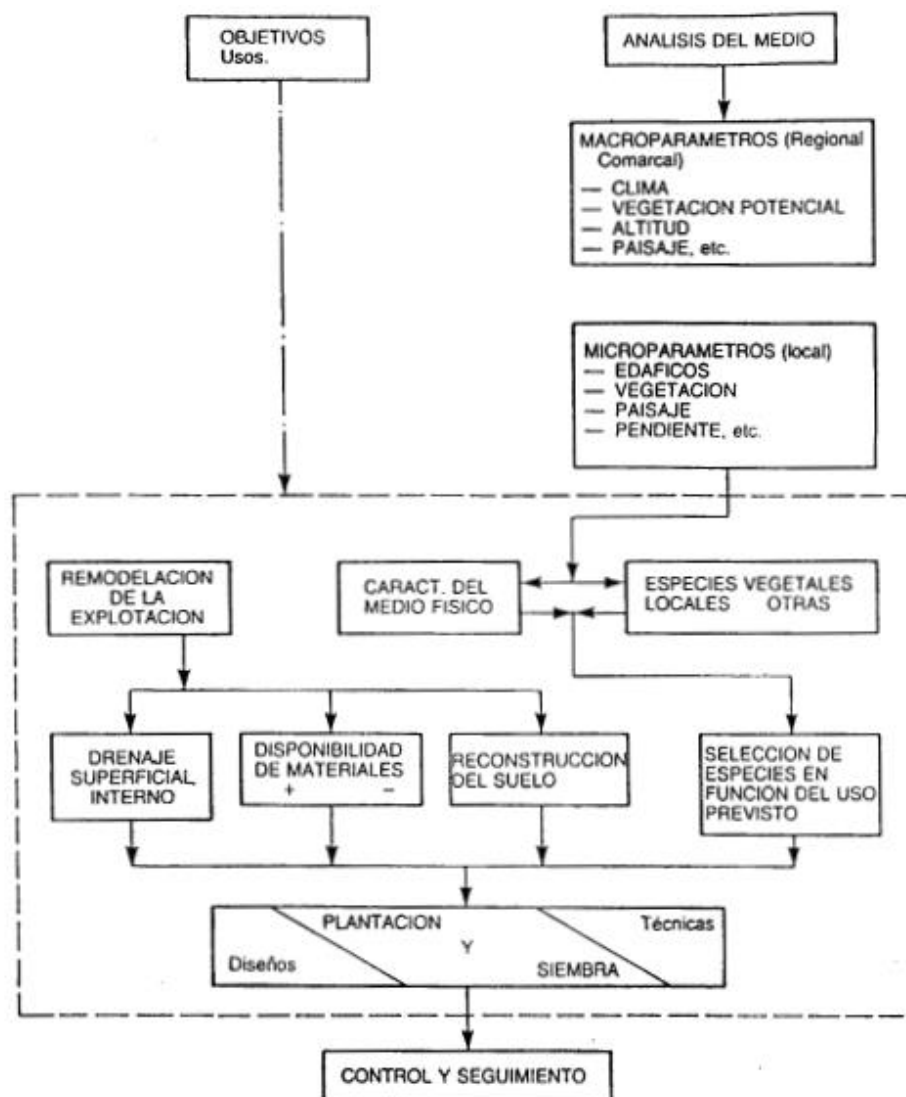


Figura 3 aprovechamiento de terrenos (Instituto tecnologico GeoMinero de España)

El segundo aporte lo realizara la **Guía Técnica Para La Restauración Ecológica De Los Ecosistemas Colombianos** realizado en el año 2012, y fue abalado y aprobado por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de la época, de este texto se recopila información relacionada con la restauración ecológicas de ecosistemas terrestre de páramo, El objetivo central de la restauración ecológica es la recuperación y sostenibilidad de los servicios ecosistémicos. En consecuencia el ideal de la restauración es aprender a manejar paisajes que es donde se manifiestan en toda su dimensión los servicios de los ecosistemas naturales, seminaturales y agroecosistemas como: agua, suelo, ciclos de materia, biodiversidad, coberturas vegetales y fijación de CO₂ (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).

Los ecosistemas se recuperan por sí solos cuando no existen tensionantes o barreras que impidan su regeneración. Si en un ecosistema degradado se eliminan estos tensionantes, se iniciará su regeneración natural; este proceso también se conoce como restauración pasiva o

sucesión natural. Es por esto que una de las primeras acciones para recuperar un ecosistema es retirar los factores que impiden la expresión de los mecanismos de regeneración natural (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).

La capacidad de restaurar exitosamente un ecosistema dependerá de gran cantidad de conocimientos, como por ejemplo: el estado del ecosistema antes y después del disturbio, el grado de alteración de la hidrología, la geomorfología y los suelos, las causas por las cuales se generó el daño; la información acerca de las condiciones ambientales regionales, la interrelación de factores de carácter ecológico, cultural e histórico; la disponibilidad de la biota nativa necesaria para la restauración, las trayectorias sucesionales de la vegetación y su composición de especies y el papel de la fauna en los procesos de regeneración (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012). En este texto se proponen 13 pasos fundamentales para la restauración ecológica los cuales son:

1. Definir el ecosistema o comunidad de referencia.
2. Evaluar el estado actual del ecosistema que se va a restaurar.
3. Definir las escalas y niveles de organización.
4. Establecer las escalas y jerarquías de disturbio.
5. Lograr la participación comunitaria.
6. Evaluar el potencial de regeneración del ecosistema.
7. Establecer los tensionantes para la restauración a diferentes escalas.
8. Seleccionar las especies adecuadas para la restauración.
9. Propagar y manejar las especies.
10. Seleccionar los sitios.
11. Diseñar acciones para superar los tensionantes para la restauración.
12. Monitorear el proceso de restauración.
13. Consolidar el proceso de restauración

La recuperación de los páramos es una necesidad cada vez más urgente debido a la acelerada destrucción y transformación de este ecosistema. Aunque en Colombia son muy recientes los estudios y experimentos sobre restauración en los páramos, es posible proponer algunas acciones (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012), presentadas a continuación:

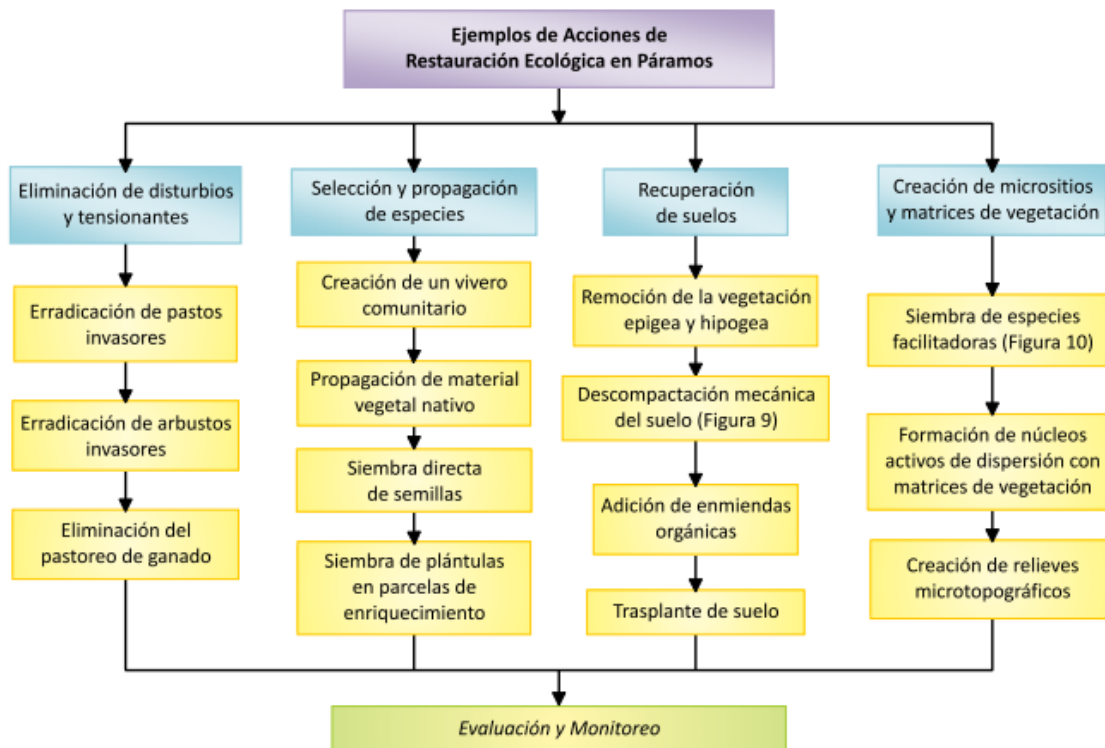


Figura 4 acciones de restauración en páramos
(Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012)

El contenido de esta guía sugiere que áreas degradadas o destruidas por minería es importante rehabilitar el suelo con enmiendas orgánicas y sembrar especies fijadoras de nitrógeno como especies del género *Lupinus*, ya que se encontraron resultados positivos al implantar la siembra de *Lupinus bogotensis* como facilitadora del crecimiento y supervivencia de *Espeletia grandiflora* y macollas de pajonal puesto que la supervivencia de *E. grandiflora* siempre fue superior al 75% y la tasa de crecimiento fue aumentando con el tiempo, mientras que la supervivencia de las macollas de pajonal fue del 100% (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).

Aunque la mortalidad de los individuos de *E. grandiflora* aumentó con el tiempo, aquellos que sobrevivieron lograron un mayor crecimiento con el paso de los meses, lo cual podría ser un efecto positivo, consecuencia de la vecindad con la especie leguminosa fijadora de nitrógeno. También se observó un incremento significativo en todos los elementos mayores del suelo, después de 18 meses de observación, lo cual significa que la siembra de *L. bogotensis* también fue benéfica para que otros elementos, además del nitrógeno, estén disponibles para las especies vecinas, lo cual es fundamental para la recuperación de la cobertura vegetal de la zona disturbada (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).

Otra de las teorías es la aportada por el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá, aquí se hablan de las condiciones tanto químicas como físicas con

las que debe contar el suelo del departamento. Además, se habla del desarrollo de una región radica en el uso adecuado de los recursos naturales existentes en su territorio. Para el buen uso de esas riquezas naturales es indispensable que se adelanten los respectivos inventarios para establecer qué tiene la región y en qué área están los recursos. Los temas tratados son primordialmente los suelos, la capacidad de uso de las tierras, el uso actual y la zonificación de tierras (Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2005).

La vegetación natural está muy intervenida por los usos de la tierra en agricultura y ganadería, los pocos lugares donde aún subsiste la vegetación natural son regiones de difícil acceso o de climas poco propicios para las labores agropecuarias; los bosques y zonas de vegetación especial cubren un área de 4708 Km2 (Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2005).

En lo relacionado a las amenazas naturales, la gran complejidad tectónica y la variedad geológica, geomorfológica y climática, unida a una intensiva actividad minera, agropecuaria e industrial, hacen de éste, un departamento con alta susceptibilidad a los riesgos naturales como la actividad sísmica, erosión, movimientos en masa e inundaciones. Por otra parte la actividad agrícola, ganadera, minera e industrial en el departamento, ocasionan la existencia de numerosos fenómenos de contaminación y deterioro de las condiciones naturales con graves efectos para la población, la infraestructura y las actividades productivas (Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2005).

5.5. MARCO NORMATIVO

A continuación, se muestra la normatividad que compete y avala la puesta en marcha del proyecto, se muestran los aspectos legales que se cumplirían en caso de desarrollar el proyecto.

Tabla 1
Marco normativo constitucional (Asamblea Nacional Constituyente, 1991)

<i>NORMAS CONSTITUCIONALES</i>	
<i>Artículo</i>	<i>comentario</i>
<i>Artículo 8</i>	“Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”

Artículo 58

“Se garantizan la propiedad privada y los demás derechos adquiridos con arreglo a las leyes civiles, los cuales no pueden ser desconocidos ni vulnerados por leyes posteriores. Cuando de la aplicación de una ley expedida por motivo de utilidad pública o interés social, resultaren en conflicto los derechos de los particulares con la necesidad por ella reconocida, el interés privado deberá ceder al interés público o social [...]”

Artículo 79

“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.

Artículo 80

“El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.”

Artículo 313

Corresponde a los Concejales:
“Dictar las normas necesarias para el control, la reservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural del municipio”.

Tabla 2
Marco normativo

DECRETO, LEYES, NORMAS PERTINENTES

<i>norma</i>	comentario
<i>Ley 2 de 1959.</i>	“Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables”.
<i>Ley 23 de 1973</i>	Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones. Artículo 1. “Es objeto de la presente Ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables [...]”
<i>Decreto Ley 2811 de 1974</i>	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. “Artículo 2. Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto: 1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguran el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos, y la máxima participación social para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio Nacional [...]”. “Artículo 13. “Con el objeto de fomentar la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente y de los recursos naturales renovables, el Gobierno establecerá incentivos económicos”. Artículo 47. “Sin perjuicio de derechos legítimamente adquiridos por terceros o de las normas especiales de este Código, podrá declararse reservada una porción determinada o la totalidad de recursos naturales renovables de una región o zona cuando sea necesario para organizar o facilitar la prestación de un servicio público, adelantar programas de restauración, conservación o preservación de esos recursos y del ambiente, o cuando el Estado resuelva explotarlos [...]”. “Artículo 179. En la utilización de suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación”.

<i>LEY 99 de 1993</i>	“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”. “Artículo 1. Principios generales ambientales: la política ambiental colombiana seguirá los siguientes principios generales: [...] artículo 60. En la explotación minera se exigirá, la restauración o la sustitución morfológica y ambiental de todo el suelo intervenido con la explotación, por cuenta del concesionario o beneficiario del título minero, quien la garantizará con una póliza de cumplimiento o con garantía bancaria. El Gobierno reglamentará el procedimiento para extender la póliza de cumplimiento o la garantía bancaria. Reglamentado Decreto Nacional 1753 de 1994 Licencias ambientales.
<i>Ley 152 de 1994</i>	“Por la cual se establece la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo” Artículo 3. Los principios generales que rigen las actuaciones de las autoridades nacionales, regionales y territoriales en materia de planeación son: [...] h. Sustentabilidad ambiental. Para posibilitar un desarrollo socio -económico en armonía con el medio natural, los planes de desarrollo deberán considerar en sus estrategias, programas y proyectos, criterios que les permitan estimar costos y beneficios ambientales para definir las acciones que garanticen a las actuales y futuras generaciones una adecuada oferta ambiental”.
<i>Ley 165 de 1994</i>	“Por medio de la cual se aprueba la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992”. “Por medio de la cual se aprueba el “Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992”. Artículo 8. Conservación In Situ. Cada parte contratante, en la medida de lo posible y según proceda: [...] f. Rehabilitará y restaurará ecosistemas degradados y promoverá la recuperación de especies amenazadas, entre otras cosas mediante la elaboración y la aplicación de planes y otras estrategias de ordenación”.
<i>Ley 299 de 1996</i>	Protege la flora colombiana y se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones.
<i>Decreto 1715 de 1978</i>	Prohíbe la alteración de elementos del paisaje
<i>Ley 685 del 2001</i>	Artículo 84. Programa de trabajos y obras. Plan de Obras de Recuperación geomorfológica, paisajística y forestal del sistema alterado.

5.6. MARCO GEOGRÁFICO

El área geográfica en la cual se realizará el estudio es en el departamento de Boyacá; en el Municipio de Samacá.

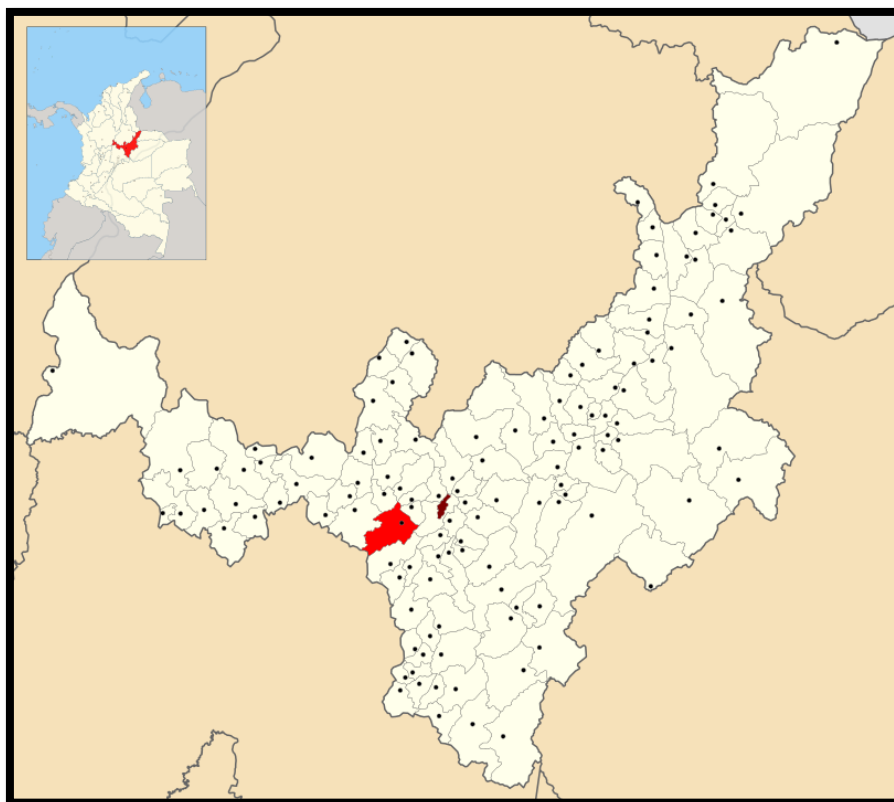


Figura 5 Mapa de Boyacá tomado de Wikipedia

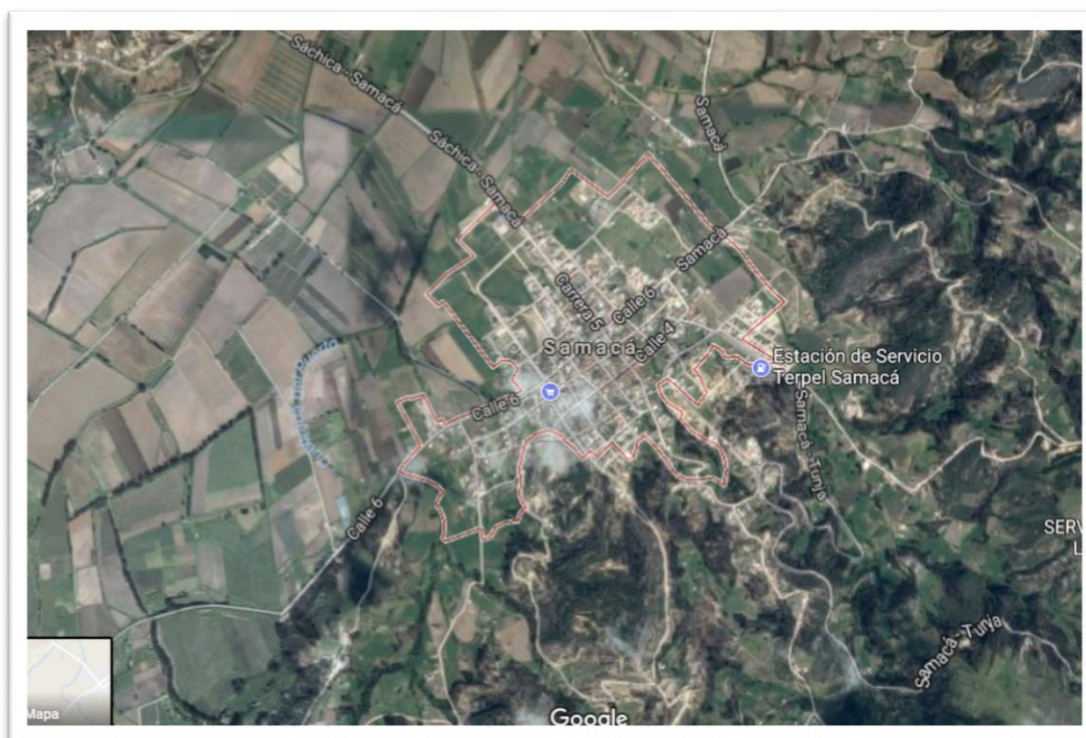
El Municipio de Samacá está ubicado a 5°, 29 minutos y 29 segundos de la latitud norte, y a 0°, 35 minutos y 30 segundos de longitud del meridiano de Bogotá. Este municipio se encuentra a una altitud de 2.600 metros sobre el nivel del mar. El Territorio de Samacá está dividido en doce (12) Veredas que son las siguientes: Salamanca, Pataguy, Chorrera, Loma Redonda, Tibaquirá, Guantoque, Gacal, Páramo Centro, Quite, Churivita, Ruchical y Centro (Acosta Bueno, 2016).

El municipio de Samacá consta de un área de 16.500, donde un 38.5% está constituido por tierras áridas, fuertemente quebradas, con erosión severa, con zanjas profundas, que no son adecuadas para agricultura ni ganadería. Un 11.3% está constituido por tierras planas ligeramente inclinadas, encharcables en épocas de invierno, algunas áreas muy pequeñas pueden presentar sales. Un 30.5% de tierras ligeramente onduladas o inclinadas, profundas, bien drenadas, presenta erosión ligera y fertilidad. Un 19.7% tierras superficiales,

fuertemente quebradas, no presentan erosión (Alcaldía de Samacá , 2012). El municipio desde el punto de vista de su aptitud de uso del suelo, registra una vocación principalmente de protección (48.37%), en segundo orden de desarrollo agropecuario (37.06%) y en tercer orden minera (13%), urbano (0.70%), suburbano (0.11%) y forestal productora – protectora (0.41%) (Sistema de información y documentación municipal, s.f.).

El bosque nativo hoy en su mayoría esta transformado y predominan los pastos y pequeños rastrojos como matorrales dispersos entre los pastizales. Para el municipio de Samacá, especialmente vereda Chorrera, el abejón y Gacal parte media y cuenca de quebradas donde se encuentra una gran diversidad de especies de Árboles indicadores del bosque original como: frailejón, Tunos *Miconi salicifolia*, encenillos *Weinmannia tomentosa*, raques *Vallea stipulares*, espinos *Xilosma spiculiferum*, salvio *Salvia sp.* Romero *Baccharis sp.*, juco *Viburnum tinoides*, Arrayán *Myrsianthes spp* y quichés *Tillandsia spp*. Fisionomicamente predominan estratos, Arbóreos, arbusto y herbáceo, el epifitismo es una condición media presente musgos, quichés, líquenes, orquídeas, lianas y bejucos (Sistema de información y documentación municipal, s.f.).

A nivel económico las zonas donde se desarrollan la extracción del carbón se ha venido desplegando desde hace aproximadamente 40 años junto con la fabricación de coque; este proceso se ha fortalecido ya que se cuenta con una gran cantidad de reservas de carbón coquizante y coquizable, las cuales constituyen una importante ventaja comparativa frente a la minería regional y nacional, dejando a la minería como el principal aportante a la economía municipal (Sistema de información y documentación municipal, s.f.).



[illegible]

La Mina El Pantano se encuentra localizada en la vereda la Chorrera, al sur del Municipio esta cuenta con aproximadamente 821 metros cuadrados; esta área es dedica exclusivamente a la extracción de carbón, cuenta con 2 socavones uno de ventilación y otro de extracción del mineral con una profundidad aproximada de 10 metros. Además, la zona cuenta con infraestructura para el alojamiento de los empleados y el almacenamiento de herramientas e indumentaria usada dentro de la actividad.

29



Figura 8 mapa Mina El Pantano (google earth, s.f.)

5.7. MARCO INSTITUCIONAL

La Mina El Pantano cuenta con 10 empleados y con una jerarquía organizada, su estructuración grafica se representa a continuación:

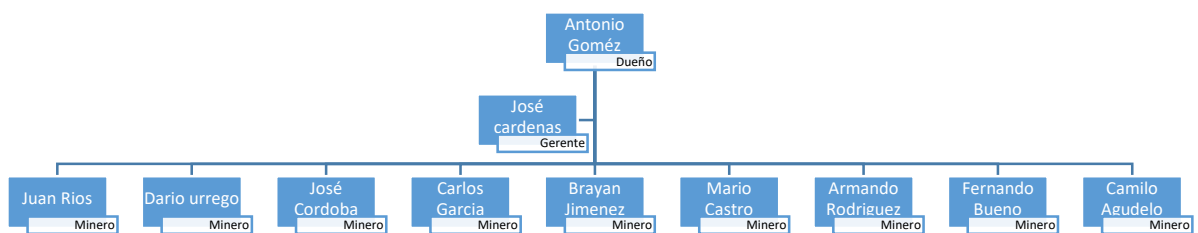


Figura 9 Organigrama Mina El Pantano

6. DISEÑO METODOLÓGICO

El trabajo de investigación anteriormente descrito se articula en diferentes fases del diseño metodológico a lo planteado por Sampieri en su libro “Metodología de la investigación” publicado en el 2010 allí se habla de los diferentes métodos, alcances, enfoques y demás etapas que puede tener un proyecto de investigación, a continuación, hablaremos de la información descrita por el autor y que competen al proyecto de investigación.

6.1. ENFOQUE

Existen 3 tipos de enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto los cuales constituyen posibles elecciones para enfrentar problemas de investigación y resultan igualmente valiosos. Son, hasta ahora, las mejores formas diseñadas por la humanidad para investigar y generar conocimientos (Sampieri Hernández, 2010) .

Este proyecto se enmarca en un enfoque mixto, debido a que este método integra 2 enfoques para dar solución al problema planteado. Para iniciar el enfoque cuantitativo se caracteriza por la necesidad de medir y estimar diferentes magnitudes para el desarrollo del ejercicio investigativo, además es secuencial y probatorio y cada etapa precede a la siguiente. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones (Sampieri Hernández, 2010).

El enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación, los datos obtenidos evidencia información simbólica verbal, audiovisual o en forma de texto e imágenes, ambos enfoques emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo para generar conocimiento, por lo que la definición previa de investigación se aplica a los dos por igual. En términos generales, estos métodos utilizan cinco estrategias similares y relacionadas entre sí (Sampieri Hernández, 2010).

El enfoque cuantitativo se identifica dentro del proyecto puesto que el primer objetivo específico planteado es el análisis físico y químico del suelo, obteniendo resultados numéricos y cuantificables para la identificación del estado actual del suelo. El enfoque cualitativo debido a que durante la ejecución del proyecto se toma en cuenta las opiniones de los diferentes grupos de interés sobre los usos que se le darán al suelo según sus necesidades.

6.2. ALCANCE

La definición del alcance dentro del proyecto es importante para establecer sus límites conceptuales y metodológicos.

El alcance definido para el presente estudio será de tipo exploratorio, los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación

poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas, Los estudios exploratorios sirven para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular, indagar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados. (Sampieri Hernández, 2010).

La definición de este alcance se debe a que los estudios de recuperación ecológica relacionados con la minería subterránea son escasos y en esta zona la información es limitada y la problemática ha sido poco tratada.

6.3. MÉTODO

La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales (Sampieri Hernández, 2010).

El Método del proyecto fue articulado con lo mencionado por Bernal en el 2010 el cual plantea un método inductivo-deductivo debido a que se trabaja un enfoque mixto, además que este método se basa en la lógica y estudia hechos particulares, aunque es deductivo en un sentido (parte de lo general a lo particular) e inductivo en sentido contrario (va de lo particular a lo general), el (Bernal, 2010)

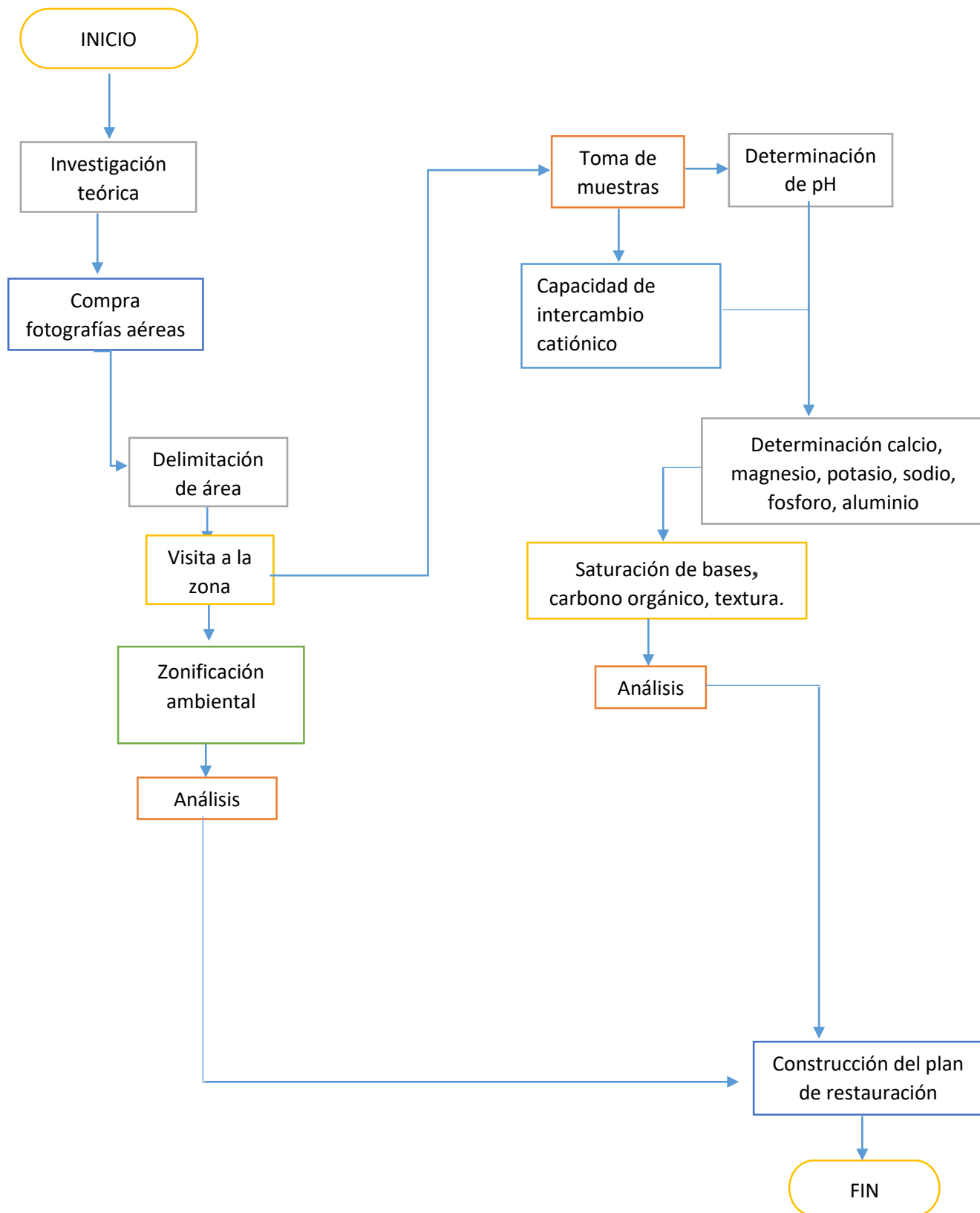
6.4.TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y VARIABLES

Las técnicas e instrumentos usados en el proyecto son las sugeridas por Bernal en su libro *Metodología De La Investigación* las cuales se relacionaron con cada objetivo específico Planteado y de esa forma recolectar la información necesaria para el logro o el cumplimiento de cada objetivo planteado.

Tabla 3
instrumentos, técnicas y variables

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO	ACTIVIDAD	TÉCNICA	INSTRUMENTO	VARIABLES	INDICADORES
Diseñar un plan de restauración ecológica en la mina de carbón el pantano ubicada en la vereda la chorrera en el municipio de Samacá en el departamento de Boyacá.	Analizar las características físicas y químicas del suelo para conocer el estado actual de la zona de estudio.	Visita a la zona de interés.	Observación personal directa, fotografías	Cuaderno, cámaras.	Suelo	• capacidad de intercambio catiónico • calcio • Magnesio • Potasio • Sodio • Fosforo • aluminio de cambio (según pH) • saturación de bases • carbono orgánico • textura por bouyoucos • pH.
		recolección de muestra de suelo	Toma de muestra	Pala, recipiente, bolsa plástica.		
		Análisis de laboratorio de la muestra recolectada.	Dependiendo del parámetro a analizar.	Utensilios de laboratorio adecuados al parámetro a realizar, cuaderno		
		Análisis de resultados	Análisis de documentos, análisis de contenido, obtención de información.	Internet, archivos, cuadernos.		
	Identificar la composición florística de la	Zonificación ambiental	Observación	Fotografías aéreas, software especializado (Arcgis).	Especies vegetales	Parches vegetativos

6.5. METODOLOGIA



6.5.1. TOMA DE MUESTRA:

Para la toma de muestra de suelo se tomó como pauta la guía propuesta por el IGAC (anexo), la cual describió los pasos a seguir para la toma de muestras en Zig –Zag, este tipo de muestreo permitió tomar 15 submuestras a lo largo y ancho del terreno el día 23 de agosto del 2018 a las 10:00 am, de la siguiente manera:

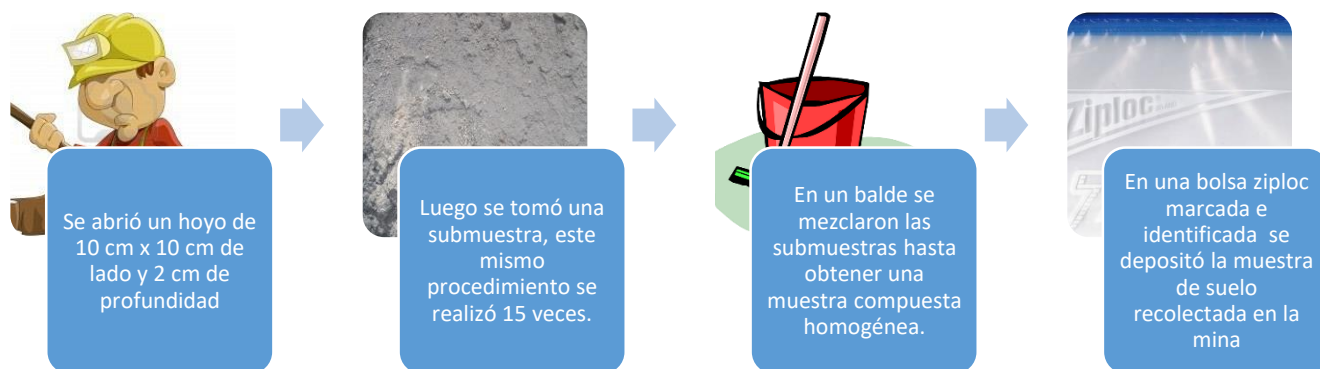


Figura 10 metodología usada para la toma de muestra (las imágenes aquí mostradas que no son de autoría propia, poseen una licencia de creative commons y son consideradas del dominio público)

6.5.2. ANÁLISIS DE LA MUESTRA DE SUELO:

Para el análisis de la muestra de suelo obtenida se contratarán los servicios del IGAC, debido a que sus laboratorios se encuentran certificados y por lo tanto los resultados obtenidos de la muestra serán precisos. El análisis a realizar en la muestra de suelo es el Q61 el cual incluye: capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, sodio, fósforo, aluminio de cambio (según pH), saturación de bases (calculado), carbono orgánico, textura por bouyoucos y pH, y la metodología usada será determinada exclusivamente por el instituto.

6.5.3. ZONIFICACIÓN AMBIENTAL:

La zonificación ambiental se realizó por medio del programa ArcGis, con las herramientas dispuestas en el software



Figura 11 metodología usada para zonificación ambiental (las imágenes aquí mostradas que no son de autoría propia, corresponde a plataformas virtuales)

6.5.4. ENCUESTAS A LOS GRUPOS DE INTERÉS

Debido a su trascendencia dentro del proyecto, el dueño de la mina y los trabajadores de la misma aportaron ideas y opiniones acerca del manejo adecuado de la zona, para ello se diseñó un modelo de encuesta (anexo 3), la cual se realizó de la siguiente manera:

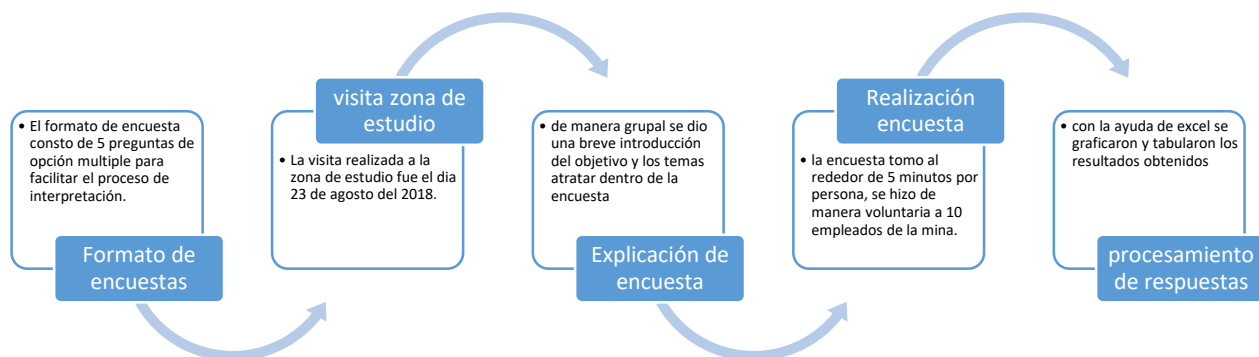


Figura 12 metodología usada para la formulación y ejecución de encuestas

6.5.5. DISEÑO DE UN PLAN DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

El diseño del plan de restauración ecológica se dio en 3 momentos cruciales a corto, mediano y largo plazo, y el desarrollo del plan se realizó con base en los referentes consultados con anterioridad y a los resultados obtenidos durante las visitas técnicas y los análisis de suelos.

6. RESULTADOS

Para dar cumplimiento al objetivo específico número uno se realizó un análisis físico-químico del suelo donde se conoció el estado actual del mismo; para la obtención de estos resultados se tomó solo una muestra de suelo, debido a que el terreno base para el desarrollo del estudio es menor a 10 hectáreas (821 metros cuadrados) y conto con un grado de pendiente muy similar en todo el terreno muestreado. La muestra recolectada fue llevada al laboratorio de suelos del IGAC donde posterior a su análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4
resultados análisis del suelo

PARÁMETRO ANALIZADO		RESULTADO
PROFUNDIDAD (CM)		0-20
GRANULOMETRÍA	Arena %	36,2
	Limo %	26,6
	Arcilla %	37,2
CLASE DE TEXTURA		Franco Arcillosa
GRAVILLA %		39,50
PH		3,86
CARBONATO DE CALCIO		N.A
ACIDEZ INTERCAMBIABLE CMOL(+)/KG		9,23
S.A.I. %		83,1
COMPLEJO DE CAMBIO CMOL(+)/KG	CIC	22,040
	Ca	0,960
	Mg	0,760
	K	0,170
	Na	ND
	B.T.	1,890
SB %		8,58
FÓSFORO DISPONIBLE MG/KG		21,02
CARBONO ORGÁNICO %		3,61

El objetivo específico número 2, se desarrolló con la ayuda del software ArcGis, imágenes satelitales tomadas desde Google Earth y fotografías aéreas disponibles en el banco de imágenes del IGAC. Para iniciar se tomó un mapa donde se mostraba la división de las veredas

pertenecientes al Municipio de Samacá, y con ayuda del software nombrado se pudo georreferenciar de la siguiente manera:

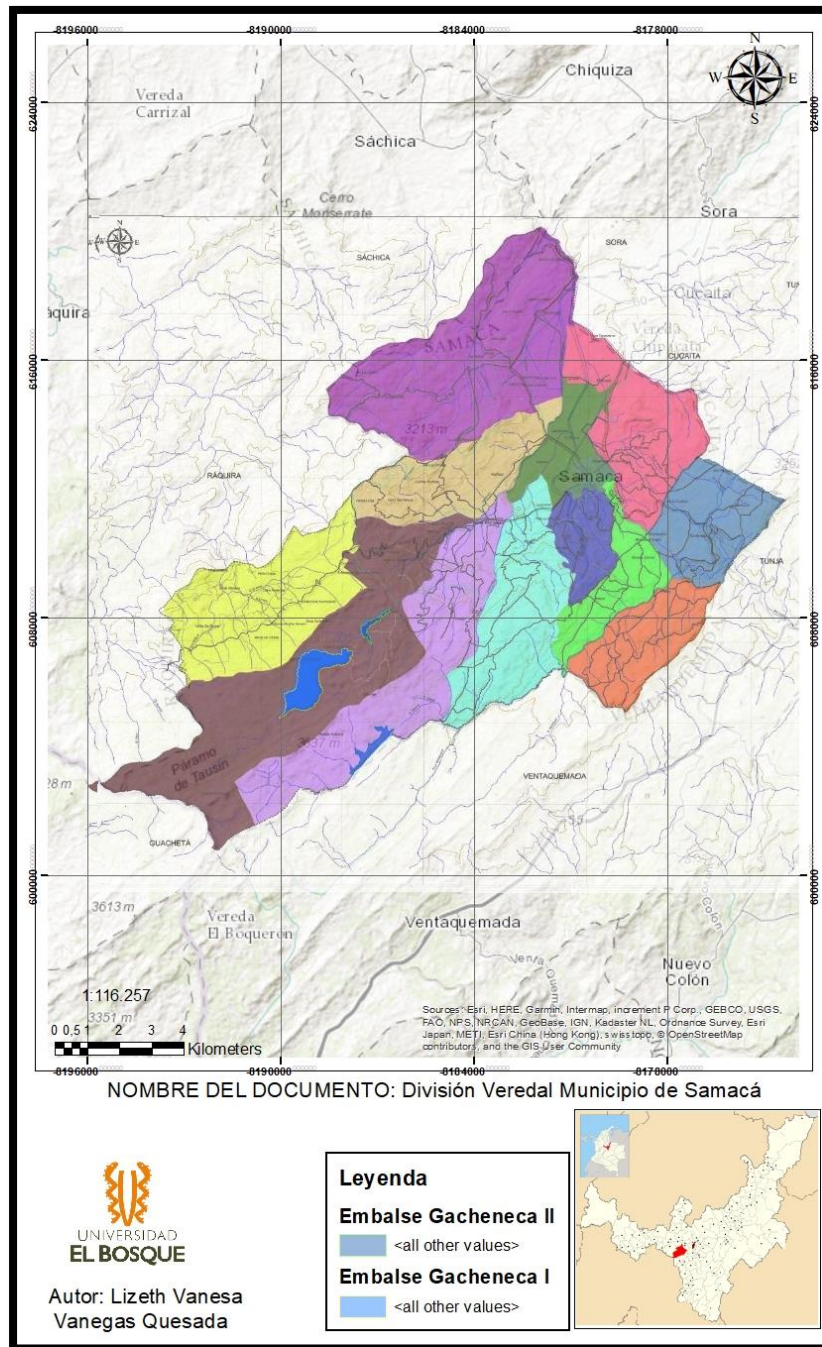


Figura 13 Mapa de las veredas principales pertenecientes al municipio de Samacá, (mapas tomados de (Ramos Moreno & Benitez Ramirez , 2016) y (E.S.E Hospital Santa Martha, 2015)

Posteriormente se realizo La zonificación ambiental con un mapa base tipo imagen satelital. Se clasifico de acuerdo con la tabla #5 de clasificación de la cobertura y el uso de la tierra según el sistema CIAF, donde se tomaron los niveles 1 y 2 para el desarrollo del ejercicio (anexo 10).

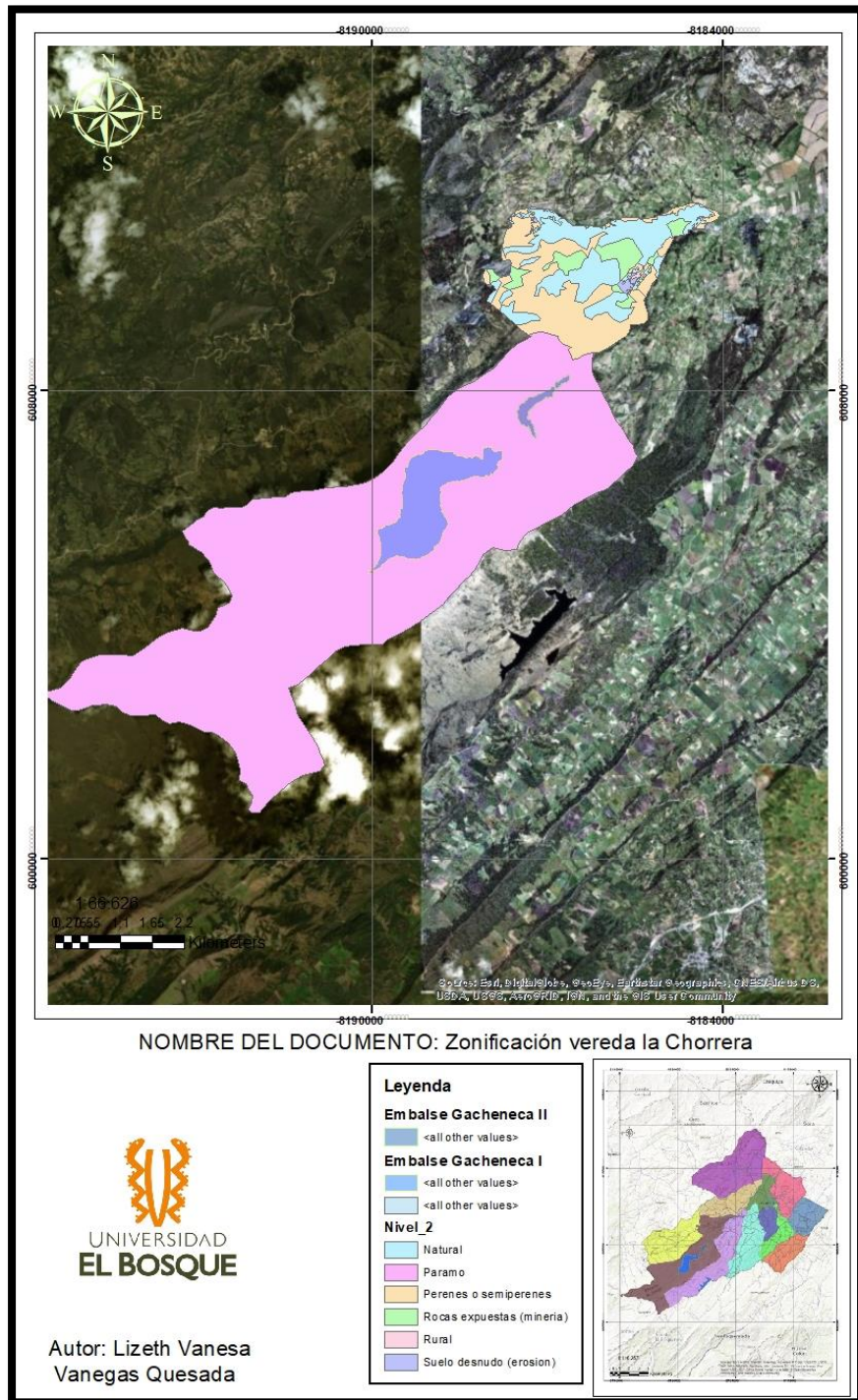


Figura 14 mapa final zonificación ambiental

Posterior a la zonificación ambiental se hizo una visita a una de las zonas identificadas con “bosque” más cercanas a la mina para reconocer la flora predominante, sin embargo, la zona escogida no contaba con la vegetación perteneciente al ecosistema de Bosque Alto Andino ya que en el área visitada predominaron los pinos y eucaliptos, (anexo 4). Sin embargo, para obtener información sobre la vegetación nativa de la zona se usó la entrevista realizada a José Cárdenas el día 13 de agosto del 2018 (anexo 1), donde se dan luces de la vegetación predominante antes de las perturbaciones sufridas por la presencia de minería.

Para consumir el objetivo específico 3 a continuación se crearon programas y proyectos con las respectivas actividades que se deben llevar a cabo durante el proceso de restauración, cada ficha mencionada representa los tiempos de ejecución siendo corto, mediano y largo plazo respectivamente.

Tabla 5
Programa a desarrollar a corto plazo

PROGRAMA			No. DE FICHA
RETIRO DE TENSIONANTES Y RELLENO DE SOCAVONES			<u>001</u>
OBJETIVO			
Mejorar la estabilidad y las características portantes del suelo eliminando la infraestructura dispuesta en el sitio además reducir los riesgos de migración de huecos rellenando con materiales inertes.			
IMPACTO A MANEJAR	TIPO DE MANEJO	PROYECTO	VARIABLE
- Inestabilidad de los suelos - Hundimiento de suelos	Compensación y mitigación	RECUPERACIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO Y SU COMPOSICIÓN NATURAL.	Suelo
ACTIVIDADES			

- Eliminación todos los tensionantes en el área de la mina incluidos los campamentos, baños y demás sitios que representen un tensionante para el ecosistema (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).
- obtención de materiales como arenas glaciares y otros materiales granulares que se encuentra en la naturaleza (Belarcazar rojas, y otros, 2013).
- Relleno de agujeros por medio manual.
- Disminución de la pendiente
- Seguimiento y monitoreo quincenal.

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

- Estructura y estabilidad.
- Capacidad de almacenamiento de agua.

$$- \frac{\text{número de km rellenos}}{\text{número de km totales que se deben rellenar}}$$

PERÍODO DE EJECUCIÓN

Inmediatamente terminen las actividades de extracción de carbón hasta culminar por completo el relleno de los huecos, debe hacerse un monitoreo quincenal que inicien labores hasta 3 meses después de que se termine, el periodo de ejecución de este programa será de un año.

PERSONAL NECESARIO/RESPONSABLES	RUBROS PRINCIPALES		
-Ingeniero Ambiental -experto en salud ocupacional - 10 empleados encargado del relleno de socavones y retiro de infraestructura	Rubros	Costo Unidad	Costo Acumulado
	Ingeniero ambiental	\$ 1.224.000	\$ 14.688.000
	Profesional en salud ocupacional	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
	10 empleados encargados de rellenos de socavones y retiro de la infraestructura	\$ 781.242	\$ 93.749.040
	palas	\$ 12.100	\$ 72.600
	picas	\$ 24.900	\$ 49.800
	total		\$ 120.559.440

Los programas y proyectos desarrollados a corto plazo se hicieron con base en los resultados obtenidos por las visitas técnicas realizadas en el área de la mina.

Descripción de las actividades del programa a corto plazo:

- **Eliminación de tensionantes:** los tensionantes o barreras a la restauración ecológica se entiende todos aquellos factores que impiden o limitan la sucesión natural en áreas alteradas; en esta etapa se deben retirar de manera manual todos los elementos de infraestructura dispuestos en la mina, además, se deben retirar los arboles de eucalipto y pino dispuestos en la zona (Vargas Rios & Reyes, Restauración ecologica en la parte, 2011).
- **Relleno de agujeros por medio manual:** para el llenado del pozo con estériles, se deberán seguir las siguientes pautas: en la parte inferior, a lo largo de una altura de unas cinco veces el diámetro del pozo, se evitará la introducción de bloques mayores de 30 cm o de bloques de roca degradable, este material permitirá que el agua subterránea percole sin interrupción y que se evite al mismo tiempo la pérdida del relleno con estériles limpios o similares a un material granular sin materia orgánica (Instituto tecnologico GeoMinero de España). La curva granulométrica que se recomienda es la siguiente:

TAMAÑO (mm)	PORCENTAJE EN PESO
> 300	—
300 a 20	> 80
20 a 2	< 15
< 1	< 5

Figura 15 relación de peso y tamaño de las rocas

- **Disminución de la pendiente:** La disminución de la pendiente se deberá realizar mediante el método de corte es uno de los métodos más utilizados para mejorar su estabilidad y en ocasiones es la primera opción a considerar. Al igual que con otros métodos, éste no es de uso universal y su efectividad puede variar de un sitio a otro, la pendiente se disminuye creando zanjas desde la cima como se muestra en el anexo 11 (Suarez, 2009).
- **Seguimiento y monitoreo:** la supervisión de las actividades de un proyecto durante su fase de ejecución, permitirá la retroalimentación del proyecto para corregir defectos de ejecución y alcanzar de forma idónea los resultados establecidos, se debe realizar un monitorio quincenal, el cumplimiento de metas es crucial es el éxito del proyecto, por eso se trazan las siguientes metas:
 - ✓ Rellenar el 30% del socavón lo que equivale a 3.6 km en 4 meses, y el 100% en un año.

- ✓ Eliminar el 40% de la infraestructura de la zona en 6 meses, y el 100% en un año.
- ✓ Disminuir la pendiente un 25% la pendiente, al finalizar la pendiente debe ser igual o menor a un 3%.

Tabla 6
Programa a desarrollar a mediano plazo

PROGRAMA			No. DE FICHA
PREPARACIÓN DEL SUELO PARA SU REVEGETACIÓN			<u>002</u>
OBJETIVO			
Recuperar la calidad del suelo donde subyace la Mina El Pantano, con el fin de crear condiciones óptimas para el desarrollo de la fauna y flora del sector.			
IMPACTO A MANEJAR	TIPO DE MANEJO	PROYECTO	VARIABLE
- Erosión - Alteraciones en los parámetros físico-químicos	Compensación y mitigación	RECUPERACIÓN DE SUELO Y SUS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS.	Suelo
ACTIVIDADES			
-Implementación de caliza en el suelo para estabilizar el pH -Adición de enmiendas orgánicas o fertilizante e incrementar los nutrientes del suelo. -Trasplante de bloques de suelo. -Seguimiento y monitoreo			
INDICADORES DE SEGUIMIENTO			
-pH - SAI % -Acidez intercambiable - Carbono orgánico -fosforo -Carbonato de calcio			

-Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces -Índice de inestabilidad Estructural																										
PERÍODO DE EJECUCIÓN																										
Aproximadamente 3 mes después de que se hayan rellenado los socavones y retirado la infraestructura, se debe comenzar con el proceso de recuperación de suelos, se deberá hacer un muestreo trimestral que permitirá evaluar el estado del suelo y de esa manera medir el funcionamiento de las estrategias, este programa se deberá ejecutar durante 2 años.																										
PERSONAL NECESARIO/RESPONSABLES	RUBROS PRINCIPALES																									
-Ingeniero Ambiental -10 empleados encargados del acomodo de los bloques de suelo y la distribución, del fertilizante.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rubros</th><th>Costo Unidad</th><th>Costo Acumulado</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ingeniero ambiental</td><td>\$ 1.224.000</td><td>\$ 14.688.000</td></tr> <tr> <td>3 empleados encargados de adición de caliza y enmiendas orgánicas</td><td>\$ 781.242</td><td>\$ 56.249.424</td></tr> <tr> <td>Caliza</td><td>\$ 19.800</td><td>\$ 19.800</td></tr> <tr> <td>Abono mulch kg</td><td>\$ 30.000</td><td>\$ 300.000</td></tr> <tr> <td>carretillas</td><td>\$ 95.500</td><td>\$ 191.000</td></tr> <tr> <td>guantes de carnaza</td><td>\$ 10.990</td><td>\$ 65.940</td></tr> <tr> <td>total</td><td></td><td>\$ 71.514.164</td></tr> </tbody> </table>	Rubros	Costo Unidad	Costo Acumulado	Ingeniero ambiental	\$ 1.224.000	\$ 14.688.000	3 empleados encargados de adición de caliza y enmiendas orgánicas	\$ 781.242	\$ 56.249.424	Caliza	\$ 19.800	\$ 19.800	Abono mulch kg	\$ 30.000	\$ 300.000	carretillas	\$ 95.500	\$ 191.000	guantes de carnaza	\$ 10.990	\$ 65.940	total		\$ 71.514.164	
Rubros	Costo Unidad	Costo Acumulado																								
Ingeniero ambiental	\$ 1.224.000	\$ 14.688.000																								
3 empleados encargados de adición de caliza y enmiendas orgánicas	\$ 781.242	\$ 56.249.424																								
Caliza	\$ 19.800	\$ 19.800																								
Abono mulch kg	\$ 30.000	\$ 300.000																								
carretillas	\$ 95.500	\$ 191.000																								
guantes de carnaza	\$ 10.990	\$ 65.940																								
total		\$ 71.514.164																								

Los programas y proyectos desarrollados a mediano plazo se hicieron en base a los resultados obtenidos por el estudio de suelo.

Descripción de las actividades del programa a mediano plazo:

- Implementación de caliza para estabilizar el pH del suelo:** Se conoce como cal principalmente al carbonato de calcio proveniente de rocas calizas o mármol y dolomitas, para estabilizar el pH del suelo se deberá aplicar 10 kg de carbonato de calcio sobre el suelo seco y distribuirse de manera homogénea sobre el terreno (Osorno Henao, 2012).
- Adición de enmienda orgánica en el suelo:** La enmienda que se recomienda es mulch orgánico, por la pendiente elevada que se maneja en la zona; este tipo de enmienda dificulta el lavado y la pérdida del mismo debido a que esta es una mezcla de virutas o astillas de

maderas mezcladas con hojas y cortezas de árboles, se debe implementar de 5 a 10 cm de altura sobre el suelo, deberán estar bien aireados y preferiblemente compostados se deberá rastrillar para homogenizar y de esta forma se pueden mejorar las propiedades del suelo (International Society of Arboriculture).

- **Trasplante de bloques de suelo:** Con esta estrategia se busca introducir al ecosistema a microfauna del suelo, varias fuentes de propágulos y enriquecimiento de nutrientes y se aprovecha la capacidad de algunas especies de tener semillas que se mantienen viables en el suelo, lo que se debe hacer es buscar un ecosistema de Bosque Alto Andinosin disturbios y recolectar suelo a una profundidad de 10 cm y cavar hoyos en la mina cada 15 metros cuadrados (aproximadamente 13 hoyos en todo el terreno) de 6 cm de profundidad, allí se sitúa el suelo recogido (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).
- **Seguimiento y monitoreo:** durante esta fase se deberán cumplir las siguientes metas:
 - ✓ Aumentar el pH de 3,8 a 4,5 en 5 meses, a los 9 meses se deberá tener un pH entre 5,5 y 6,0.
 - ✓ El mulch para los primeros 6 meses deberá ocupar el 50% del terreno y el análisis de SAI % debe estar para esa zona en el nivel adecuado, al completar el año el 50 % del terreno deberá contar con esas características.
 - ✓ Además de los indicadores ya propuestos como el pH y el SAI% también se tomará en cuenta el carbono orgánico en el suelo.
 - ✓ En mes y medio se deberán llenar 7 hoyos con suelo extraído del ecosistema de Bosque Alto Andino más cercano.

Tabla 7
Programa a desarrollar a largo plazo

PROGRAMA			No. DE FICHA
CREACIÓN DE MATRICES DE VEGETACIÓN			<u>003</u>
OBJETIVO			
Recobrar la vegetación nativa de la zona afectada por la Mina El Pantano, con el fin de recuperar algunos de los servicios ecosistémicos que prestaba la zona antes de su degradación.			
IMPACTO A MANEJAR	TIPO DE MANEJO	PROYECTO	VARIABLES

- Pérdida de biodiversidad - Deforestación - Migración de especies	Compensación y mitigación	REVEGETACIÓN DE LAS AREAS PERTENECIENTES A LA MINA EL PANTANO.	- Cobertura vegetal - especies vegetales
ACTIVIDADES			
-Recolección de semillas, las especies que se van a sembrar dependerán de la zona de la cual se recolecten las muestras sin embargo se espera obtener principalmente la especie <i>Vallea stipularis</i> debido a su alta presencia en la zona. -generación de núcleos de restauración -Empleo de Micorrizas -Siembra de semillas o especies -Riego cuando se requiera -Seguimiento y monitoreo			
INDICADORES DE SEGUIMIENTO			
- $\frac{\# \text{ de metros cuadrados con vegetación}}{\# \text{ de metros cuadrados totales}}$ - # de especies sembradas - # de especies sobrevivientes cada 2 meses durante el desarrollo del proyecto - Altura de las especies			
PERÍODO DE EJECUCIÓN			
Luego de verificar las condiciones del suelo y corroborar que son adecuadas para el crecimiento vegetativo se llevará a cabo el programa mencionado, que tendrá una duración aproximada de 5 años desde su ejecución.			
PERSONAL NECESARIO/RESPONSABLES		RUBROS PRINCIPALES	
-Biólogo o ecólogo -10 empleados encargados de plantar las semillas o sembrar los germinados de las mismas.			
		Rubros	Costo Unidad
		Biólogo	\$ 1.224.000
			Costo Acumulado
			\$ 14.688.000

8 empleados encargados de la siembra y distribución de plántulas	\$ 781.242	\$ 149.998.464
bolsas para vivero x 1000	\$ 95.000	\$ 95.000
manguera x 20 metros	\$ 30.000	\$ 30.000
total		\$ 164.811.464

Los programas y proyectos desarrollados a largo plazo se obtuvieron mediante el análisis documental de las referencias mencionadas durante el desarrollo del capítulo 2 (marcos de referencia) y los resultados de la muestra de suelo, visitas técnicas y zonificación ambiental.

Descripción de las actividades del programa a largo plazo:

- **Recolección de semillas:** Se deberá buscar un área perteneciente al Bosque Alto Andino que no cuenten con perturbación, en los suelos cercanos a los árboles se deberán buscar semillas o frutos que deberán ser recogidas y guardadas, se deberá tener un número amplio de estas semillas aproximadamente 2000, algunas de estas se podrán a germinar directamente en el suelo de la mina, mientras las demás se deberán sembrar en bolsas plásticas con el suelo del ecosistema al que pertenecen (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).
- **Generación de núcleos de restauración:** las semillas sembradas en las bolsas pertenecientes a especies arbustivas y herbáceas, que se hayan convertido en plántulas de aproximadamente un metro, se ubicaran 6 parcelas de 8x9 metros y se sembraran las plántulas las distancias entre ellas serán de 50 cm, en cada parcela se sembraran aproximadamente 200 individuos (Vargas Ríos & Reyes, La restauración ecológica en la práctica, 2011).
- **Empleo de micorrizas:** Los hongos formadores de micorrizas (HMVA) dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, a la vez que entregan nutrientes minerales, especialmente los poco móviles como el fósforo, también estimulan la producción de sustancias reguladoras de crecimiento, incrementan la tasa fotosintética, promueven ajustes osmóticos cuando hay sequía (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).
- **Siembra de semillas y especies:** Las demás semillas y plántulas germinadas se sembrarán a distancias aproximadas de un metro de los núcleos de restauración, se cubrirán las áreas que no cuenten con vegetación (Vargas Ríos & Reyes, La restauración ecológica en la práctica, 2011).
- **Seguimiento y monitoreo:** para la etapa final además de monitorear los cambios químicos y físicos en el suelo como los mencionados anteriormente, se deberá revisar quincenalmente

el tamaño de las especies sembradas y la supervivencia de las mismas, además se deberán cumplir las siguientes metas:

- ✓ Se deben haber recolectado 530 semillas en los primeros 3 meses, y el 100% de las semillas en 8 meses.
- ✓ El 40% de las plantas deberán estar sembradas en 8 meses, y el 100% a los 15 meses.
- ✓ Cuando las plántulas estén maduras y del tamaño ideal se deberán plantar los primeros 4 núcleos de restauración en los siguientes 8 meses.
- ✓ Las demás semillas deberán ser plantadas en los siguientes 8 meses.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

La presencia de la Mina El Pantano ha generado un impacto negativo en el ecosistema de Bosque Alto Andino, por lo que se deben tomar acciones correctivas para mejorar las condiciones del suelo, la diversidad biológica, y recuperar los servicios ecosistémicos. En primer lugar, se propone el recogimiento y desmonte de infraestructura y otros objetos que no pertenecen al ecosistema; conocidos como tensionantes, la importancia de este paso radica en la posibilidad de que se inicié un proceso de regeneración natural, de esta manera se facilitaría el proceso de restauración asistida; sin embargo, si no se eliminan de una forma definitiva estos tensionantes es posible que el proyecto no sea viable (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012). Los factores tensionantes competen a la instalación de infraestructura en la zona para el alojamiento de los empleados, socavones, áreas para almacenamiento del carbón, rieles para el transporte del mismo, y otros objetos ajenos al ecosistema en cuestión. Para la construcción de la infraestructura anteriormente mencionada, se adecuó el área removiendo la capa vegetal del suelo la cual poseía mayor contenido de materia orgánica y elementos nutritivos, que las capas subyacentes (subsuelo y capas de estériles), además los procesos de escorrentía y erosión eólica fueron facilitaron la remoción y el lavado de los pocos nutrientes del suelo acidificando esta área (Instituto tecnológico GeoMinero de España).

El relleno de los socavones permite la estabilidad del suelo impidiendo hundimientos y derrumbes dentro de la construcción. El método escogido para dicho fin fue tipo manual, esto se debe a que la ejecución de otros métodos como el de inyección se hace imposible, ya que el terreno no permite el acceso de volquetas u otro tipo de maquinaria pesada. El relleno de esta mina debe hacerse con materiales como roca para darle estabilidad al suelo de la zona, sin embargo, se debe evitar la introducción de bloques mayores de 30 cm o de bloques de roca degradable seguidos de una capa de grava y arena, este material permitirá que el agua subterránea percole sin interrupción y que se evite al mismo tiempo la pérdida del relleno. (Instituto tecnológico GeoMinero de España) .

El análisis químico del suelo, arrojó un pH de 3,86 lo que revela un suelo extremadamente ácido según la tabla de rangos otorgada por el IGAC (anexo 5), sin embargo, los suelos de los Bosques Alto andinos según estudios realizados por Quintero en el 2010 y Cerón en el 2009 poseen un pH que oscila entre 5,0 y 6,0; lo que revela que el pH del suelo no es el adecuado para el tipo de

ecosistema al que pertenece la zona de estudio. La acidificación del suelo de la mina podría deberse a diferentes factores como la exposición de fragmentos rocosos que se alteran y se oxidan, como la pirita, un mineral que es componente principal de los yacimientos de carbón (Instituto tecnológico GeoMinero de España), también la presencia de pinos y eucaliptos en la zona pudieron ser un factor determinante para la alteración del pH en el suelo analizado, a razón de la producción de ácidos orgánicos provenientes de la descomposición de hojarasca de estos árboles (Carimentrand, Lugo, & Lozada, 2002). La acidificación de los suelos no solo indica una alteración en los parámetros químicos del suelo sino que además representa un problema de pérdida de biodiversidad, debido a que un pH inferior a 6 produce efectos negativos sobre la fauna del suelo como los gusanos y las bacterias ralentizando la actividad biológica del suelo e impidiendo el adecuado desarrollo de los ciclos biogeoquímicos a los cuales los microorganismos benefician; asimismo la disminución de la actividad microbiana dificulta el acceso de la flora a los nutrientes del suelo inhibiendo su crecimiento (Cano, 2011). Para la neutralización de los suelos se recomendó la dispersión de sales básicas ya que estas permiten neutralizar la acidez del suelo y de esa forma recuperar su funcionalidad (Espinosa & Molina, 1999).

El porcentaje de saturación de aluminio intercambiable (S.A.I.) fue de 83,1 lo que indica niveles tóxicos para la mayoría de cultivos, esto se debe a que el aluminio afecta la estructura y el funcionamiento de la membrana, la síntesis de ADN, la elongación celular, afecta la división celular, la nutrición mineral y el metabolismo en general (Casierra Posada & Aguilar Avendaño, 2007). El aumento de aluminio en el suelo es debido a que aproximadamente 15% de la corteza terrestre está compuesta por Al_2O_3 , el cual es poco soluble en suelos neutros o alcalinos; sin embargo, con la reducción del pH del suelo se incrementa la solubilidad del aluminio hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico, generando un quebranto de nutrientes en el suelo y en la biodiversidad del área estudiada; puesto que el aluminio ataca principalmente a las raíces de las plantas disminuyendo el crecimiento de las nuevas raíces y, por ende, dificulta la adaptación de las plantas (Rivera, Moreno, Herrera, & Romero, 2015). La escasez de vegetación en el área de estudio puede deberse a la alta concentración de aluminio en el suelo, no obstante, para disminuir este mineral y favorecer la presencia de otros minerales necesarios para la supervivencia de las plantas, se recomendó la adición de materia orgánica (abono) ya que esta puede reducir la toxicidad por aluminio mediante la formación de complejos entre los compuestos orgánicos con el elemento (Rivera, Moreno, Herrera, & Romero, 2015).

A fin de solucionar las condiciones de toxicidad y acidez del suelo se propuso un programa de preparación del suelo, iniciando con el proceso de aspersión de cal viva, esta favorece el cambio de un pH ácido a un pH básico. Para las características del suelo de la Mina El Pantano se deberá usar 10 toneladas de cal, puesto a que el área es menor a una hectárea además como se muestra en el (anexo 6) la disminución de la acidez del suelo, depende del pH actual y de la textura del suelo. El aporte de materia orgánica, supone una excelente ayuda y tiene efectos importantes en la recuperación de nutrientes y disminución de toxicidad, el método propuesto utilizado para su recuperación es mulch (mulch de paja, de heno) debido a que su uso es frecuente para áreas con fuertes pendientes que presenten inestabilidad y riesgo de erosión como la que se trabaja en la Mina El Pantano, para la disminución de la misma se debe hacer con el método de corte con este método se deben remover los materiales de la parte superior del talud dándole un equilibrio de fuerzas que

mejore la estabilidad de la zona (anexo 11) (Instituto tecnologico GeoMinero de España; Suarez, 2009).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) permite retener en los suelos elementos necesarios para nutrir a la vegetación y entre mayor sea la capacidad mayor es la fertilidad del mismo, en el estudio realizado por Cerón este valor oscila entre 12 y 30 para un ecosistema de bosque, mientras el suelo analizado tuvo un valor de CIC de 22,04 encontrándose en un término medio dentro de los rangos otorgados por el IGAC y dentro de los parámetros obtenidos por Cerón. Esta capacidad se otorga gracias a las arcillas contenidas en el suelo, puesto que estas tienen la capacidad de comportarse como iones de carga negativa, de forma que son capaces de retener o adsorber cationes como nutrientes, sin embargo estas también son capaces de retener otro tipo de cationes como elementos pesados a esto se le atribuye la acidez y los niveles de toxicidad del suelo (Garrido Valero, 1993). El valor obtenido por el CIC confirma los resultados obtenidos en el análisis de la textura y la granulometría donde se destacan el contenido de arcillas.

El contenido de carbono orgánico obtenido es de 3,61; la temperatura es el factor principal que incide en la mineralización de la materia orgánica, los contenidos ideales de carbón orgánico en los suelos, varían según el piso térmico en que se encuentre el suelo lo que para un clima frío como el que se presenta en la mina el valor obtenido es un moderado, lo indica un buen potencial del suelo para suministrar nitrógeno (Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2005). El carbono orgánico para Bosque Alto Andinose encuentra en un rango de 3 a 7 por lo que el resultado obtenido cumple con el parámetro obtenido para este tipo ecosistema (Cerón & Garcia, 2009). La saturación base las concentraciones de bases intercambiables y sus porcentajes de saturación son bajas a pHs ácidos, se incrementan a pHs superiores a 5.5 y la saturación llega al 100% en suelos neutros y básicos, así pues, el resultado obtenido fue de 8,58% lo que indica un porcentaje bajo, este parámetro indica la presencia de los cationes alcalinos (Na^+ y K^+) y alcalino térreos (Ca^{++} y Mg^{++}) que son retenidos por los aniones de los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo; estos son muy importantes para la nutrición de las plantas, ya que permiten conocer la reserva de elementos tan esenciales (Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2005).

El método de evaluación propuesto para el seguimiento de la estabilidad estructural se basa en el tamizado de 5 gr de muestra de suelo en condiciones de inmersión en agua, previamente se hacen tres pretratamientos con submuestras iguales: una se sumerge, durante unos minutos, en alcohol, la otra en benzeno y, la última, en agua. A partir del peso de los agregados estables después de los distintos pretratamientos $(\text{Aga} + \text{Agb} + \text{Agc})/3$ y de las partículas inferiores a 20μ disgregadas $F(\text{agm})$, y con el contenido de arena gruesa (S), se puede obtener el índice de inestabilidad estructural (Is) (Junyent & March, 1989).

Según los datos otorgados por el IGAC la vocación del suelo para el área de la mina es de conservación del suelo (anexo), por lo que se ve un conflicto de uso del suelo el cual no es correspondiente a su vocación. La zonificación del suelo permitió identificar la perturbación existente en la vereda donde se encuentra la mayor área de extensión del páramo rabanal bajo la jurisdicción del municipio de Samacá. para ayudar a la restauración de la micro fauna del suelo y al enriquecimiento del mismo se realiza un trasplante de suelo desde las zonas con presencia de bosque identificadas mediante la zonificación (color morado imagen), sin embargo el área escogida

debe ser visitada con anterioridad debido a que durante el desarrollo del estudio se seleccionó una de las áreas con presencia de “bosque” más cercana a la mina pero no se obtuvieron los resultados esperados debido a que el área contaba solo de eucaliptos los cuales no son una especie endémica del bosque alto andino.

Durante la zonificación ambiental se evidencio una fragmentación de los ecosistemas debido a la presencia de minería y pastos, causando la perdida de conexiones biológicas entre la zona de paramo y los bosques que se encuentran en la vereda, lo que causa perdida de biodiversidad y de densidad de especies presentes en la zona (Santos & Telleria , Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las, 2006). Para favorecer la biodiversidad de la Mina El Pantano se propuso trasplantar el suelo de áreas con vegetación nativa para aprovechar la capacidad de almacenamiento de semillas y microorganismo, formando bancos de semillas que podrían desarrollarse cuando las condiciones del suelo sean óptimas para su desarrollo. Esta estrategia puede propiciar la formación de pequeños nichos de regeneración y colonización, además de favorecer la variabilidad genética. La implementación de hongos formadores de la micorriza en el suelo estimula la producción de sustancias reguladoras de crecimiento, incrementan la tasa fotosintética, promueven ajustes osmóticos cuando hay sequía, incrementan la resistencia a plagas y la tolerancia a estrés ambiental y se considera un elemento crucial para la regeneración exitosa. Es necesario tener en cuenta los conocimientos ancestrales para la identificación de la vegetación usada para la restauración acusa de la carencia de información obtenida por la visita de campo. La distribución de semillas y plántulas debe iniciar como un proceso experimental dentro del proceso de restauración, la reintroducción de ciertas especies puede incrementar significativamente los niveles de materia orgánica y desencadenar el proceso de sucesión secundaria y restauración natural, este es considerado el paso fundamental dentro del proceso de restauración (Vargas Ríos, Díaz Triana, Reyes Bejarano, & Gómez Ruiz, 2012).

8. CONCLUSIONES

- Los suelos de la Mina El Pantano, se encuentran altamente degradados por lo que la revegetación de la zona no es posible sin un tratamiento previo. los niveles de aluminio que se presentan en estos suelos se considera tóxicos para el desarrollo de cultivos y de la vegetación por lo que se debe estabilizar el pH del suelo por medio de la aplicación de caliza para la corrección de la acidez, y fertilizantes para el aporte de materia orgánica.
- La remoción de la capa vegetal permitió la erosión del suelo, debido a que la vegetación ayuda a fijar los suelos con sus raíces evitando la perdida de este por escorrentía y por erosión eólica.
- El primer objetivo específico se cumple debido a que el presente estudio aporta un análisis de las características físicas y químicas del suelo que permitió propone indicadores de calidad de que servirán como base para conocer los avances que se obtienen de la restauración.
- La zonificación permitió evidenciar una fragmentación de los ecosistemas de paramo y Bosque Alto Andino que se encuentra próxima al eco tonó, revelando el inicio de la disminución del ecosistema de bosque en la zona.
- Los programas propuestos se deben a la viabilidad de los mismos en cuanto a temporalidad y promueven la recuperación de la vegetación inicial.

- El diseño del plan de restauración ecológica propuesto se desarrolló de manera acorde a las características actuales del suelo y del ecosistema al cual pertenece el área estudiada, la eficiencia y eficacia de la recuperación permitirá recobrar los servicios ecosistémicos prestados por esta zona.
- La remoción efectiva de los tensionantes es el primer paso que permitirá el éxito de la restauración ecológica.
- Los contaminantes generados, por el abandono de minas sin un adecuado cierre o restauración, se pueden evitar dándole un manejo apropiado a la zona afectada, de esta forma le damos un valor agregado al área utilizada mediante la recuperación de un servicio (recreativo, aprovisionamiento o demás), evitando la generación de enfermedades de comunidades aledañas y mejorando la calidad de vida de los mismos.
- Se deben sembrar árboles con raíces anchas para lograr el anclamiento del suelo y evitar deslizamientos como lo son los árboles *Vallea stipularis* Mutis ex L.f , los cuales son originarios de los Bosques Alto Andinos.
- Con la zonificación ambiental se pudieron reconocer parches vegetativos donde se esperaba encontrar mayor número de especies y cobertura vegetal, esto podría deberse a el cambio del uso del suelo desde la fecha en que se tomó la fotografía hasta el día de hoy.
- La metodología empleada fue adecuada para lograr el cumplimiento de los objetivos planeados.
- Se deberá hacer otra visita de campo a un lugar con mayor biodiversidad, para la recolección de semillas y plántulas que se pueden propagar en la Mina El Pantano luego de mejorar la calidad de los suelos.
- El costo del plan de restauración ecológica puede variar debido a que el ciclo productivo de la mina aún no se ha efectuado y los costos tanto de materiales como de mano de obra hasta la fecha pueden incrementar o variar.
- Aunque el área del presente estudio no abarca más de una hectárea, los métodos y técnicas propuestos, pueden ser extrapolados a otras áreas que realicen la misma actividad económica al interior del municipio, esto se debe a que las técnicas de extracción y el tipo de mina manejados en el territorio es igual en todos los casos, además, la mayoría de minas se localizan en zonas que deberían ser de ecosistemas de Bosque Alto Andino.
- Este trabajo permitió ampliar los conocimientos en diferentes áreas del conocimiento, además permitió abordar el tema de la pequeña minera de carbón en Colombia y sus implicaciones a nivel ecológico, social y económico.

9. RECOMENDACIONES

Cuando se inicie el proceso de extracción de carbón se deben almacenar los estériles retirados de la veta para usarlos como rellenos y que la cantidad de materiales utilizados para relleno de socavones que se deba adquirir disminuya. La pendiente de la mina podría representar un problema para la estabilidad del suelo es por ello que se recomienda que antes de iniciar el proceso de siembra de árboles o plantación de semillas se reduzca la pendiente por medios manuales, con el método de remociones de materiales de la cabeza con este método se deben remover los materiales de la parte superior del talud dándole un equilibrio de fuerzas que mejore la estabilidad de la zona, y se busquen alternativas para mejorar el drenaje del suelo como por medio de zanjas. Asimismo, se recomienda

estabilizar el pH con cal activa por su precio y efectividad, conjuntamente que la adición de enmiendas orgánicas o fertilizantes se hagan en días secos, para que el proceso de lluvia no retire la capa de nutrientes dispuesta en la zona por medio de escorrentía, se recomienda también que esta actividad se lleve a cabo en conjunto con la siembra de algunas leguminosas gracias a que la profundidad que alcanzan sus raíces permite anclar de manera más eficiente el abono al suelo, además se recomienda ampliar los estudios realizados y buscar mejores alternativas para el relleno del socavón ya que se puede tornar desgastante. Finalmente se recomienda realizar estudios de estructura y de la actividad microbiana del suelo debido a que estos son un bioindicador de alta eficiencia por su mayor sensibilidad y rapidez de respuesta frente a las perturbaciones sufridas en el suelo. Realizar estudios microbiológicos en el suelo y abordar temas como el de biolixiviación.

10. BIBLIOGRAFIA

- Junyent, G., & March, J. (1989). Estabilidad estructural y erosión en suelos de uso agrícola de la plana de Vic. *Acta geologica hispanica*, 59-66.
- Acosta Bueno, D. M. (2016). *IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERIA DE CARBÓN Y SU RELACIÓN CON LOS PROBLEMAS DE SALUD DE LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAMACÁ (BOYACÁ), SEGÚN REPORTES ASIS 2005-2011*. Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Agencia Nacional de Minería. (2017). *Ficha tecnica carbón*. Obtenido de https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ficha_carbon_es.pdf
- Alcaldía de Samacá . (2012). plan de desarrollo 2012 -2015 comprometidos con Samacá . Samacá, colombia.
- Alcaldía Municipal de Samacá Boyacá. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial Samacá Boyacá 2000*. Obtenido de sistema de documentación e información municipal: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/dimension%20fisico%20biotica%20-%20samac%C3%A1%20\(183%20pag%20-%201025%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/dimension%20fisico%20biotica%20-%20samac%C3%A1%20(183%20pag%20-%201025%20kb).pdf)
- Álvarez Del Castillo, J., & Agredo Cardona, G. A. (2013). PÉRDIDA DE LA COBERTURA VEGETAL Y DE OXÍGENO EN LA MEDIA. *Luna Azul ISSN*, 19.
- Apfelbaum, S. (2014). Ecological Restoration: A Practical Approach. *applied ecological services, inc.* , 104 - 110.
- Arango Aramburo, M., & Olaya, Y. (2012). Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. *Gestión y ambiente Universidad Nacional de Colombia*, 15, 125-133. doi:2357-5905
- Asamblea Nacional Constituyente. (6 de julio de 1991). Constitución política colombiana. Bogotá, Colombia.
- Belarcazar rojas, a., Cedán Muñoz, I., Fernandez Valenzuela, g., Herrera Correa , W., Izquierdo Tanta, T., León Sánchez, A., & Ripa Yáñez, A. (2013). *corte y relleno*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

- Bernal, C. A. (2010). *Metología de la investigación*. Colombia: Pearson Educación.
- Bird , L., & Molinelli, J. (2001). LA BIODIVERSIDAD. *alianza geografica de Puerto Rico* .
- Borda Naranjo, N., & Barrera Monroy, L. (2017). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de samacá* . Obtenido de Gobernación de Boyacá: www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Asis2017/asis_municipal_2017_samaca.pdf
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, Trichoderma spp. y Pseudomonas spp. Una revisión. *UDCA actualidad y divulgación científica* , 15-31.
- Cárdenas, J. (13 de agosto de 2018). (V. Vanegas, Entrevistador)
- Carimentrand, J., Lugo, L., & Lozada, J. (2002). efectos inducidos en los suelos, por las plantaciones de eucalipto en el estado Portuguesa, Venezuela. *Forestal Latinoamericana* , 101-120.
- Casierra Posada, F., & Aguilar Avendaño, O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS*, 246-257.
- Cerón , P., & Garcia, H. (2009). propiedades del suelo en bosque y pajonal; reserva natural Pueblo Viejo, Nariño Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 113-120.
- Contraloría General de la Republica. (2013). *Minería en Colombia*. Bogotá : Imprenta nacional de Colombia.
- Cortes , V. (s.f.). Carbon. Obtenido de <http://www.factoria3.com/documentos/CARBON.pdf>
- departamento de agricultura a nivel sostenibel - servicios de conservación de recursos naturales . (2014). *claves para la taxonomía del suelo segunda edición*.
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). *plan nacional de desarrollo 2014-2018*. Bogotá.
- E.S.E Hospital Santa Martha. (2015). análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de samaca .
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Quito: international plant nutrition institute.
- Garrido Valero, S. (1993). *Interpretación análisis de suelos*. Madrid, España: ministerio de agricultura pesca y alimentación.
- Gil Mateus, D. C. (2017). métodos de restauración en suelos andinos deteriorados por minería de carbón a cielo abierto aplicables en el municipio de amagá (antioquia-colombia). *Universidad Militar nueva Granada*.
- google earth. (s.f.). Obtenido de <https://earth.google.com/web/@5.47133861,-73.5338329,2856.290432a,496.61830932d,35y,-59.5719448h,60.00230909t,0r>
- Guerrero Useda, M. E., & Pineda Acevedo, V. (2016). *CONTAMINACIÓN DEL SUELO EN LA ZONA MINERA DE RASGATÁ BAJO (TAUSA). MODELO CONCEPTUAL*.
- Guerrero, E. (2009). *Implicaciones de la minera en los paramos de Colombia, Peru y Ecuador*. Bogotá.

- Guevara, R., Rosales, J., & Sanoja, E. (2015). vegetación pionera sobre rocas, un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería de hierro. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 10-20.
- Hamere Yohannes, T. S. (2018). Integrated Ecological approach as paradigm shift towards sustainability: current efforts and challenges. *Global Journal of human-social science: B Geography, Geo-Sciences, Environmental Science & Disaster Management*, 18, 17-32.
- Hoyos, C. R. (2017). *Bosques Andinos estado actual y retos para su conservación en antioquia*. Medellín: Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe .
- Ideam. (2001). Ecosistemas. En *El medio ambiente en colombia* (págs. 278-346). Bogotá.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2014). *Instituto Humboldt Colombia*. Obtenido de restauración ecológica: <http://www.humboldt.org.co/es/actualidad/item/635-restauracion-eco>
- Instituto Geografico Agustin Codazzi . (s.f.). *GUÍA DE MUESTREO*. Bogotá D.C.
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. (2005). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá*. Bogotá.
- Instituto tecnologico GeoMinero de España. (s.f.). *Manual de restauración de terrenos y evaluacion de impactos ambientales en mineria* . Madrid .
- Jardín Botánico José Celestino Mutis. (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del Bosque Altoandino. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Manrique Galvis, J. J., & Perico Carvajal, P. E. (2017). *PRODUCCIÓN Y EXPORTACIONES DE CARBÓN EN COLOMBIA*. ministerio de minas y energía.
- Melo Ascencio, D., Peña Lizarazo, R., Rocha Gomez, J., & Torres Bobadilla, A. (2015). *El Carbón de Colombia ¿quién gana, quién pierde? MINERÍA, COMERCIO GLOBAL Y CAMBIOCLIMÁTICO*. Bogotá: Centro de Estudios para la Justicia Social Tierra Digna. 172p.
- Méndez, M., Martínez, C., Ceccon, E., & Guariguata, M. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en latinoamérica: Avances y omissions. *revista de ciencias ambientales Tropical journal of environmental sciences*, 1-30.
- Ministerio de medio ambiente y Desarrollo Sostenible. (13 de noviembre de 2017). *Ministerio de ambiente*. Obtenido de Colombia restauró 190.000 hectáreas de ecosistemas naturales en los últimos cuatro años: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3362-colombia-restauro-190-000-hectareas-de-ecosistemas-naturales-en-los-ultimos-cuatro-anos>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). Plan Nacional de restauración. *Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas*. Bogotá.
- Ministerio de minas y energia . (2017). *COMPORTAMIENTO DE PRODUCTO INTERNO BRUTO DEL SECTOR MINERO*. Bogotá.
- Morgan. (1986). *Soil erosion and conservation*. Australia: BLACKWELL PUBLISHING.

- Murcia, C., Guariguata, M., Peralvo, M., & Gálmez, V. (2017). *La restauración de bosques andinos tropicales: Avances, desafíos y perspectivas del futuro*. Bogor, Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Osorno Henao, H. (2012). *MITOS Y REALIDADES DE LAS CALES Y ENMIENDAS EN COLOMBIA*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia .
- Oyarzún G, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud*. *Chil Enf Respir*, 10.
- Protección Católica De Mexico. (2014). *Coque Metalúrgico*. Obtenido de https://www.proteccioncatodica.mx/pdfs/coque_metalurgico.pdf
- Ramos Moreno , A., & Benitez Ramirez , G. (2016). Modelamiento de material particulado emitidos por coquización. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*.
- Resumen 34- Congreso Salud y Ambiente. (2013). *En Riesgo La Población De Samacá En Colombia Debido A La Contaminación Atmosférica Proveniente De Coquización*. Bogotá: IV Congreso Colombiano Y Conferencia Internacional De Calidad Del Aire Y Salud Pública.
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., & Romero , H. (2015). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Universidad Nacional De Colombia*, 11-23.
- Sampieri Hernández, R. F. (2010). *metodologia de la investigación*. . México: INTERAMERICANA EDITORES, S.A. D.
- Santos, T., & Telleria , J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las. *Asosiation Española de ecologia terrestre*, 3-12.
- Santos, T., & Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *ecosistemas revista científica y tecnologica*.
- Sistema de información y documentación municipal. (s.f.). *Dimiensiones fisico bioticas del municipio de Samacá*. Obtenido de Sistema de información y documentación municipal: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/dimension%20fisico%20biotica%20-%20samac%C3%A1%20\(183%20pag%20-%201025%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/dimension%20fisico%20biotica%20-%20samac%C3%A1%20(183%20pag%20-%201025%20kb).pdf)
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: Tecnicas de remediación*. Santander : Universidad Industrial de Santander.
- Subgerencia Cultural del Banco de la República. (2015). Cobertura vegetal. Obtenido de http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/ciencias/cobertura_vegetal
- Universidad Nacional . (2013). *En Riesgo La Población De Samacá En Colombia Debido A La Contaminación Atmosférica Proveniente De Coquización. IV Congreso Colombiano Y Conferencia Internacional De Calidad Del Aire Y Salud Pública*, (págs. 1-8). Bogotá.
- Vargas Ríos , O., & Reyes, S. (2011). *La restauración ecológica en la práctica*. Bogotá. Obtenido de http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_46/file/Memorias-Congreso-Restauracion.pdf

- Vargas Rios , O., & Reyes, S. (2011). Restauración ecológica en la parte. *I congreso Colombiano de restauración ecológica*. Obtenido de http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_46/file/Memorias-Congreso-Restauracion.pdf
- Vargas Rios, O. (2011). restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *acta biologica de colombia*, 221 - 247.
- Vargas Ríos, O., Díaz Triana, J., Reyes Bejarano, S., & Gómez Ruiz, P. (2012). *Guía técnica para la restauración ecológica de los ecosistemas colombianos*. Bogotá D.C.
- Vargas, o., & Armenteras, D. (2015). patrones del paisaje y escenarios de restauración: cercando escalas. *acta biologica de Colombia*.
- Word Reference . (s.f.). *erosión* . Obtenido de <http://www.wordreference.com/definicion/erosi%C3%B3n>
- Zhenqi, H., Peijun, W., & Jing, L. (2012). Ecological Restoration of Abandoned Mine Land in China. *Journal of Resources and Ecology*, 289-296.

11. ANEXOS

Anexo 1 Encuesta gerente general Mina El Pantano

El día 13 de agosto de 2018 a las 12:00 pm se realizó una visita a la Mina El Pantano en compañía de José Cárdenas gerente general de la Mina El Pantano, Marco Rodríguez empleado de la mina y José Sánchez acompañante, la extracción de carbón no se estaba llevando a cabo en el horario de la visita de campo. Durante el recorrido realizado a la mina se muestran los sitios principales los cuales son: almacenamiento de leña, campamentos, socavones entre otros. El recorrido permitió una entrevista libre, en la cual se trabajaron preguntas abiertas, sin un orden preestablecido, adquiriendo las características de conversación y permitiendo la espontaneidad la cual estará descrita a continuación:

- ¿Hace cuánto conoce el área de la mina?
Desde siempre, cuando era niño veníamos con mis abuelos a estas zonas, sin embargo, hace aproximadamente 40 años el paisaje cambio, con la llegada de la minería.
- ¿Cuánto tiempo lleva la mina en el proceso de extracción?
La mina empezó su proceso de construcción hace aproximadamente 8 años, pero como tal extrayendo carbón llevamos 7 años aproximadamente.
- ¿Cuánto tiempo le queda a la mina para termina su ciclo de vida?
Es información no la tengo con claridad sin embargo yo creería que le quedan aproximadamente 3 años.
- ¿sabe que es un servicio ecosistémico?
La verdad desconozco el término.

- Los servicios ecosistémicos son todas aquellas contribuciones directas e indirectas que hacen los ecosistemas al bienestar humano, esto se ve representado en elementos o funciones derivadas de los ecosistemas que son percibidas, capitalizadas y disfrutadas por el ser humano como beneficios que incrementan su calidad de vida; como la purificación del aire la recarga hídrica, los alimentos entre otros. ¿ha visto la pérdida de los servicios ecosistémicos en esta zona? ¿podría ponerle un porcentaje?

Si he visto la pérdida de los servicios ecosistémicos, lo poco que recuerdo cuando era niño es que en esta zona crecían mucha vegetación y se veían muchos animales. Si me tocara poner un porcentaje yo diría que 80% ya las plantas no crecen en esta zona por la afectación al suelo solo quedan unos cuantos eucaliptos y las matas que trae el patrón para adornar la mina.

- ¿Qué problemas ha generado la mina a nivel ecológico?

Pues la mina empezó a funcionar cuando ya todas las demás minas estaban en proceso de extracción, esta es un área pequeña y cuando se empezó con la mina ya esta área estaba afectada por las minas vecinas que venían y quitaban árboles para los socavones y pues creo que los daños pues han sido a la vegetación más que todo y al suelo antes de que la minería llegara al pueblo se veían unos paisajes muy lindos.

- ¿Qué problemas ha generado la mina en la salud?

Los que más generan contaminación es la coquización ya que mantienen los hornos prendidos, nosotros no lo hacemos solo lo extraemos, supongo que solo nos afectara a nosotros los gases que hayan dentro de la mina y a veces cuando desobedecemos y no usamos los elementos de protección, gracias a dios nunca ha ocurrido una tragedia.

- ¿sabe que vegetación tenía la mina antes de su adecuación para la explotación?

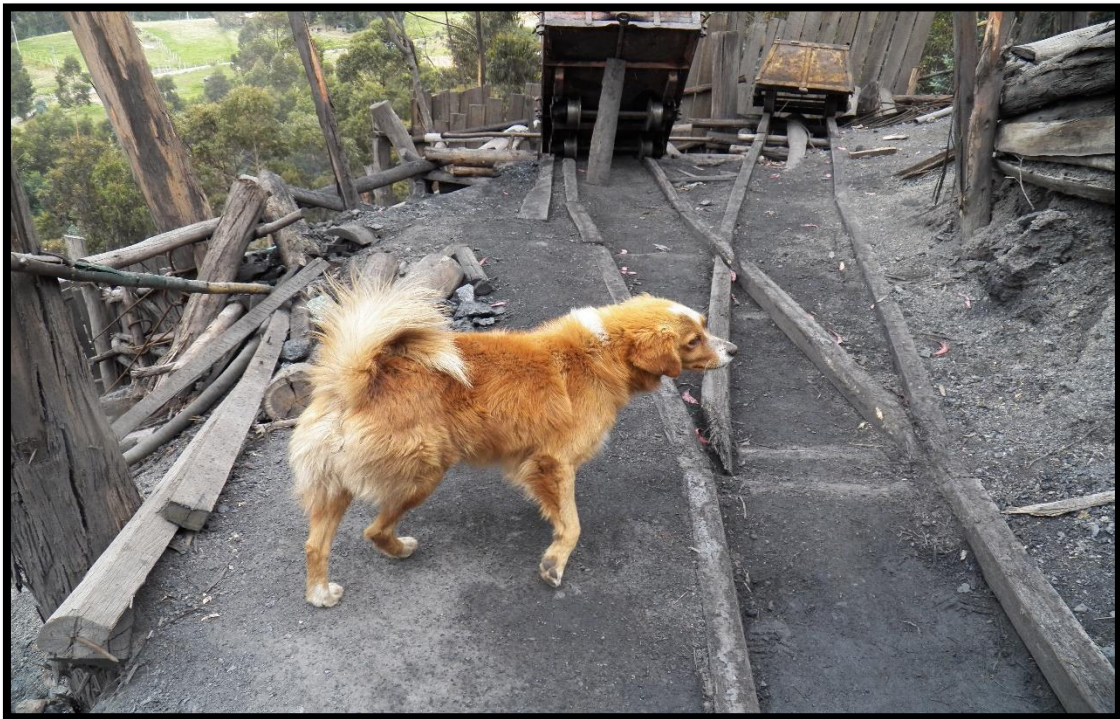
No con exactitud, sin embargo, era muy similar a la que encontramos más hacia arriba de la carretera.

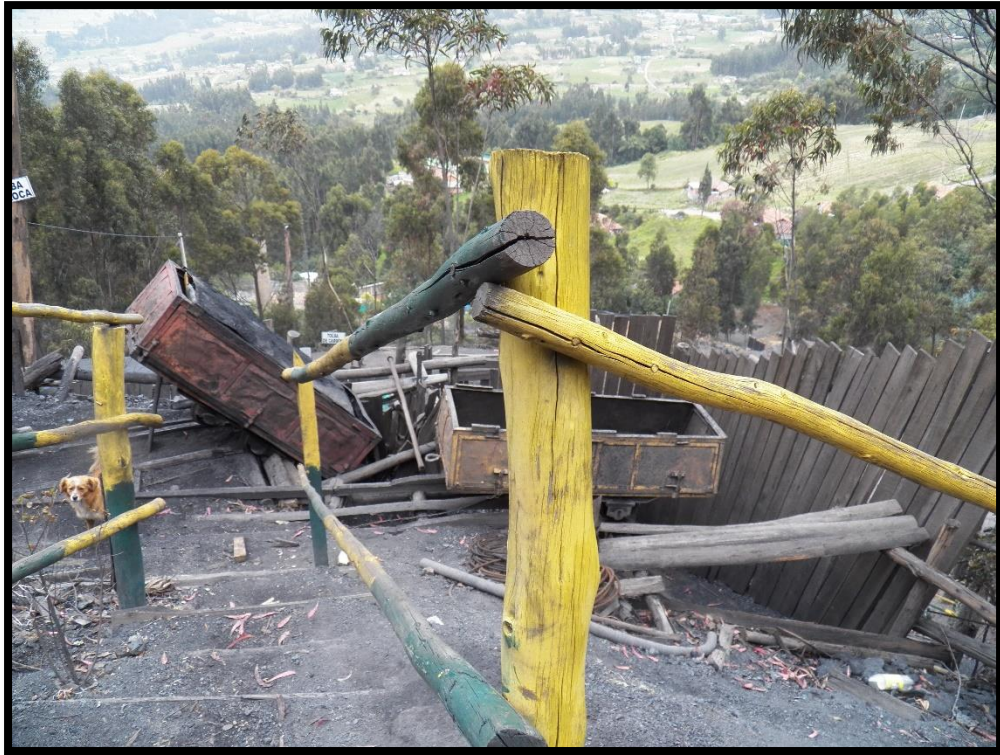
Anexo 2 grupo de imágenes Mina El Pantano



















Anexo 3 Encuesta empleados Mina El Pantano

A continuación, se presenta la encuesta realizada a los empleados de la mina para obtener información sobre su opinión acerca del manejo adecuado de la zona.



ENCUESTA EMPLEADOS DE LA MINA EL PANTANO

Realizado por: Lizeth Vanesa Vanegas Quesada

OBJETIVO: Recolectar información sobre las opiniones de los empleados de la mina el pantano acerca del manejo adecuado de la zona.

"Los datos recolectados en la presente encuesta son con fines netamente académicos"

1. ¿Cuál es el mejor uso para el área de la mina cuando su vida útil termine?

- ☐ Agricultura
- ☐ Ganadería
- ☐ Plantación natural
- ☐ Recreación (parque)
- ☐ Es poco relevante

2. ¿Cómo rellenaría los socavones del área?

- ☐ Manual
- ☐ Mecánico (ayuda de volquetas, barrenos y demás)

3. ¿Qué tipo de vegetación plantaría en la zona?

- ☐ Árboles
- ☐ Pastos
- ☐ Frailejones
- ☐ Pinos
- ☐ Plantas similares a la de los lugares con vegetación nativa

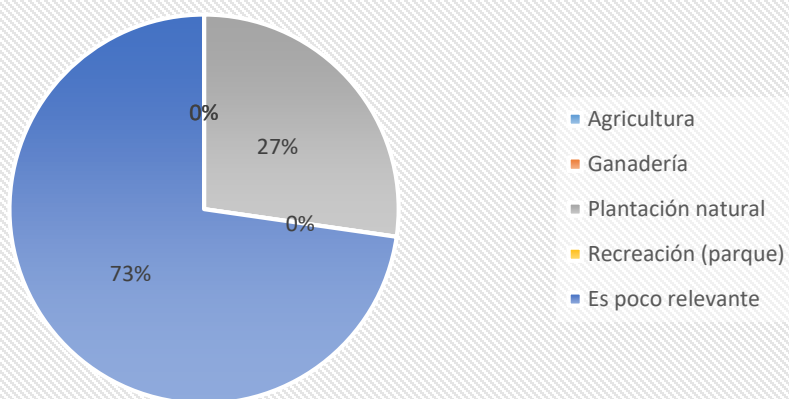
4. ¿Cómo está el suelo de la mina actualmente?

- ☐ Dañado o erosionado
- ☐ En buen estado
- ☐ No sabe no responde

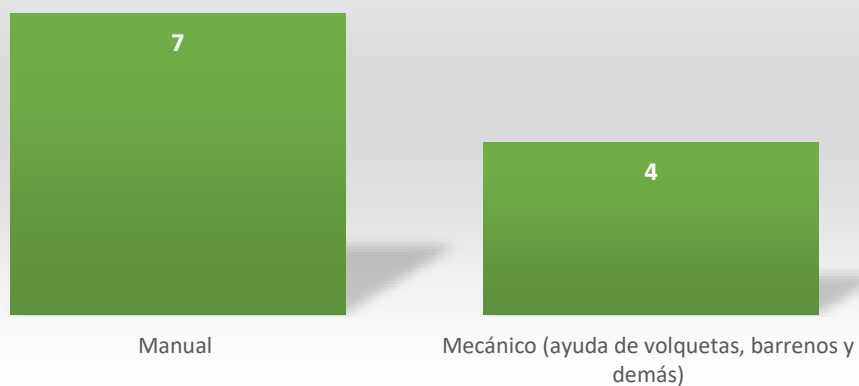
5. Para poder hacer un nuevo uso del suelo usted que cree que se debería hacer:

- ☐ Plantar pinos
- ☐ Sembrar semillas
- ☐ Abonar el suelo
- ☐ No sabe no responde

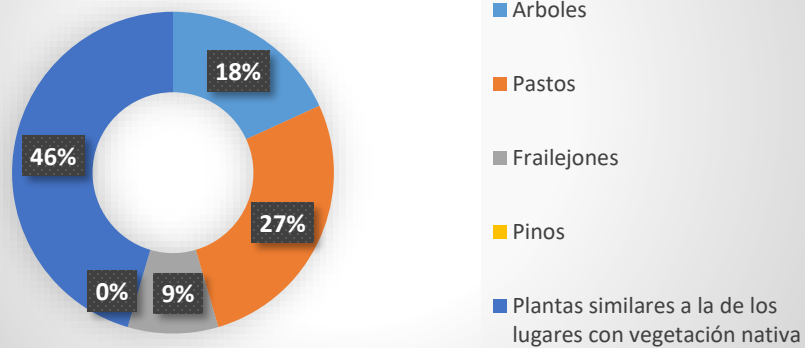
¿Cuál es el mejor uso para el área de la mina cuando su vida útil termine?



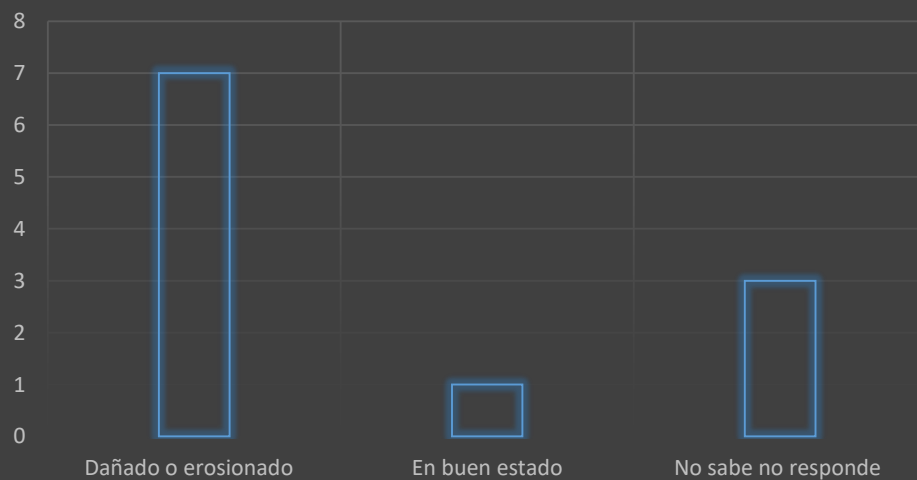
¿Cómo rellenaría los socavones del área?



¿Qué tipo de vegetación plantaría en la zona?



¿Cómo está el suelo de la mina actualmente?



**PARA PODER HACER UN NUEVO USO DEL
SUELO USTED QUE CREE QUE SE DEBERÍA
HACER:**



Anexo 4 grupo de imágenes área seleccionada para una visita técnica









Anexo 5 los archivos remitidos por el IGAC para el análisis de la muestra de suelo.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI											
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS											
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS											
pH (H ₂ O)	APRECIACIÓN	P mg Kg ⁻¹ (BRAY II)	K cmol (+) Kg ⁻¹	C.O (%)			N.Total (%)			CIC cmol (+) Kg ⁻¹	SATURACIÓN DE BASES (SB) %
				CLIMA			CLIMA				
1:1				FRIÓ	MEDIO	CÁLIDO	FRIÓ	MEDIO	CÁLIDO		
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.25 - 0.50	0.15 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50
4.0 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO											
5.1 - 5.5	APRECIACIÓN	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I.)	APRECIACIÓN	
		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K						
FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA dS m ⁻¹	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)	CLASE	<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES	
5.0 - 6.0						0 - 2	INFERIOR	NORMAL	15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES	
MEDIANAMENTE ÁCIDO	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	2 - 4		LIMITE			
6.1 - 6.5						4 - 8		S1			
LIGERAMENTE ACIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			8 - 16		S2			
6.6 - 7.3							15%	S3	30 A 60	LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES	
NEUTRO	CONTENIDO ÓPTIMO	ELEMENTOS MENORES* (mg Kg ⁻¹)				>16					
7.4 - 7.8		Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4	Na				
LIGERAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8	SUPERIOR	NaS1			
7.9 - 8.4						8 - 16	A	NaS2	>60	NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS	
MEDIANAMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16	15%	NaS3			
8.5 - 9.0											
FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal.										
>9.0	Boro en suelos (extractable en agua caliente) : 0.6 - 1.0 mg Kg ⁻¹ .										
EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg ⁻¹ .										
ÁREA DE QUÍMICA											

NC(Nivel Crítico): 25 mg Kg⁻¹ NO₃; 20 mg Kg⁻¹ NH₄; 20 mg Kg⁻¹ S disponible (Fosfato de calcio)

CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):

N (%): 2.5-4.5; P (%): 0.20-0.75; K (%): 1.5-5.5; Ca (%): 1.0-4.0; Mg (%): 0.25-1.0; S (%): 0.25-1.0

B (mg Kg⁻¹): 10-200; Cu (mg Kg⁻¹): 5-30; Fe (mg Kg⁻¹): 100-500; Mn (mg Kg⁻¹): 20-300; Zn (mg Kg⁻¹): 27-100; Mo (mg Kg⁻¹): 0.10-0.20; Cl (mg Kg⁻¹): 100-500

RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Q-61										FECHA	
GESTIÓN AGROLÓGICA										AAAA-MM-DD	
										2018-09-10	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		LIZETH VANESA VANEGAS				TIPO DE MUESTRA		SUELO		No. SOLICITUD	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Boyaca - Samacá								3179_1	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		☐ DE FECHA				DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 66 C No 125 - 55			
No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	GRAVILLA %	pH	RELACION DE pH	CARBONATO DE CALCIO	
			ARENA %	LIPO %	ARCILLA %					Cuálitativo	
MQ1-31657	MNA	0-20	35.2	26.6	37.2	F Ar	39.50	3.860	1:1	N.A.	
CARBONATO DE CALCIO		S.A.I. %	COMPLEJO DE CAMBIO (cmol(+) / Kg)						S.B. %	FOSFORO DISPONIBLE mg/kg	
Cuálitativo %	ACIDEZ INTERCAMBIABLE (cmol(+) / Kg)		Ca	Mg	K	Na	S.T.				
N.A.	9.23	83.01	22.040	0.960	0.760	0.170	N.D.	1.890	8.58	21.02	
CARBONO ORGANICO %											
3.61											
Observaciones:											

meq Calcio/100g (cmol(+) / Kg) x 200 = mg/Kg. meq Potasio/100g (cmol(+) / Kg) x 391 = mg/Kg. meq Magnesio/100g (cmol(+) / Kg) x 120 = mg/Kg. meq Sodio/100g (cmol(+) / Kg) x 230 = mg/Kg. Porcentaje (%) = mg/Kg / 10.000
 A = ARENA; L = LIPO; Ar = ARCILLA; F = FRANCO; CE = CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA; CaCO_3 : (+) = [] = NO PRESENTE; BAJO: (++) = MEDIO; (+++) = ALTO; (+++++) = MUY ALTO. N.A. = NO APLICA; N.E. = NO ESPECÍFICA; N.D. = NO DETECTADO
 SAT = SATURADO; S.T. = BASES TOTALES; S.A.I. % = PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE; S.B. % = PORCENTAJE SATURACIÓN DE BASES; PSI = PORCENTAJE SATURACIÓN DE SODIO.
*** LA MUESTRA NO DISPERSO APROPIADAMENTE, EL % DE ARCILLA PUEDE SER MAYOR.**
 Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 48-51 Bogotá, Teletax 3694016 ó 3694000 Ext. 91548 y 91266, mail: laboratorio@igac.gov.co
 Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.
 Certificaciones BVQ para las normas ISO 9001:2015, NTCGP 1000:2009 e ISO 14001:2015

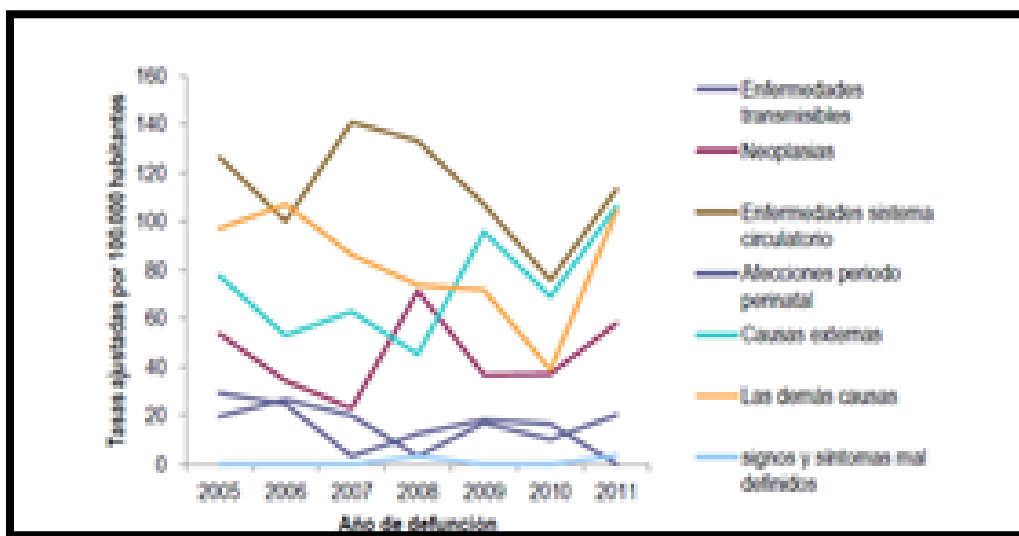
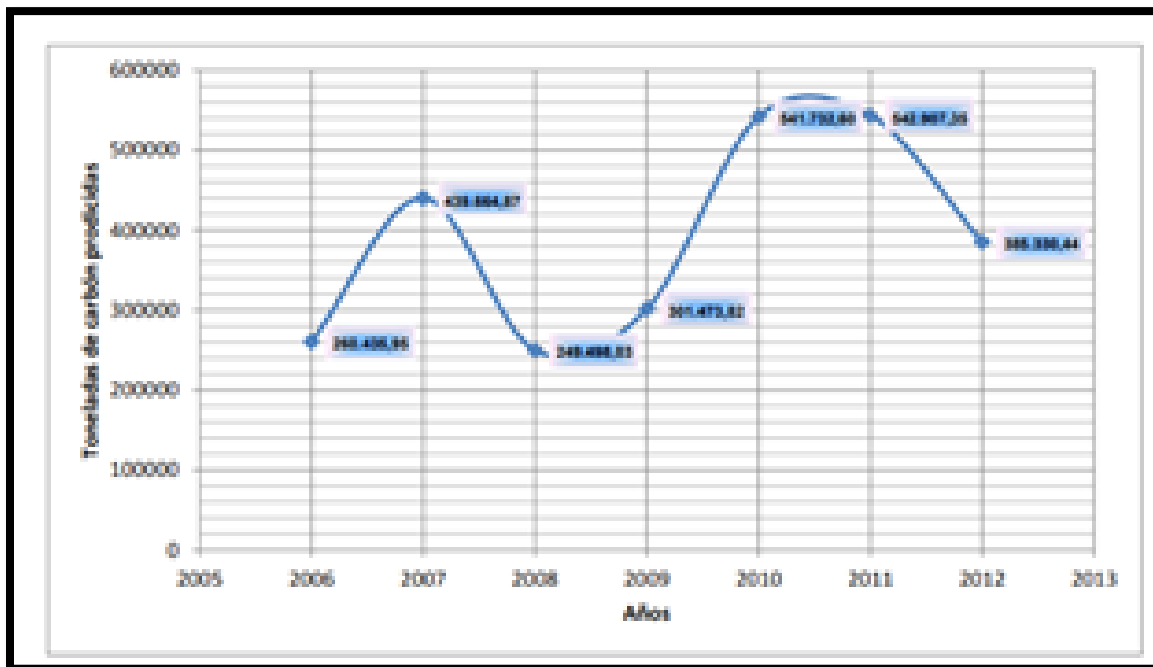
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT: _____
 JAIME ALVAREZ HERRERA
 NOMBRE _____
 Firma _____

Página 1 de 2

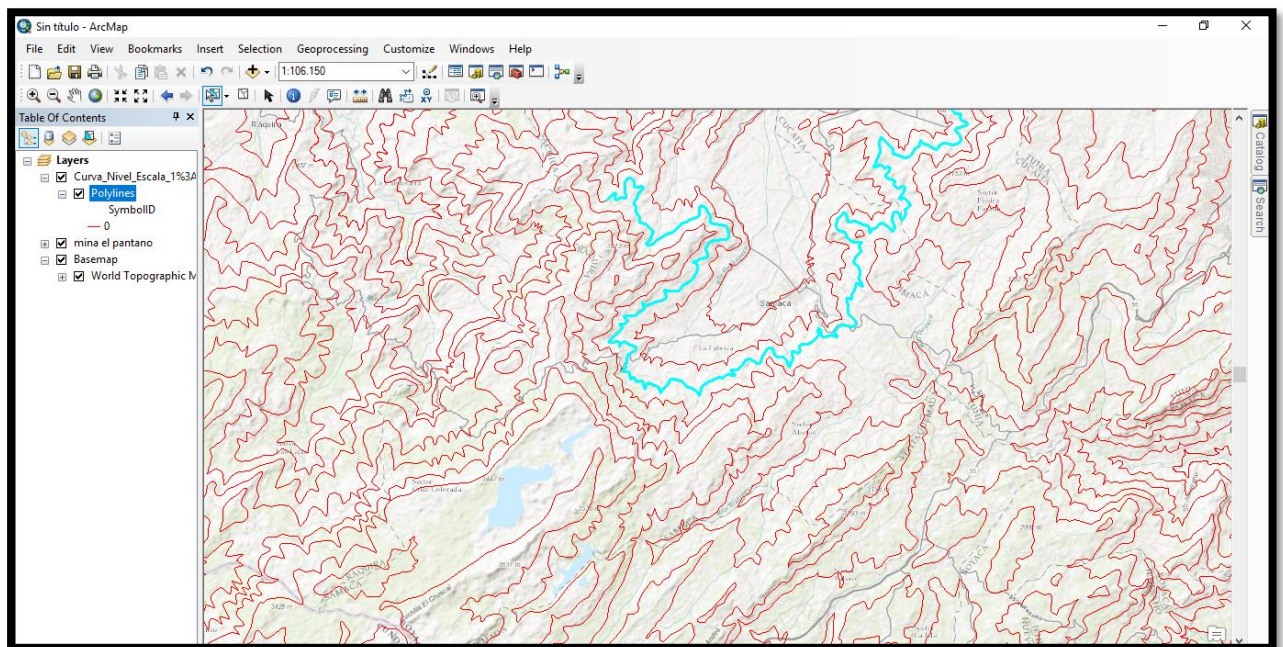
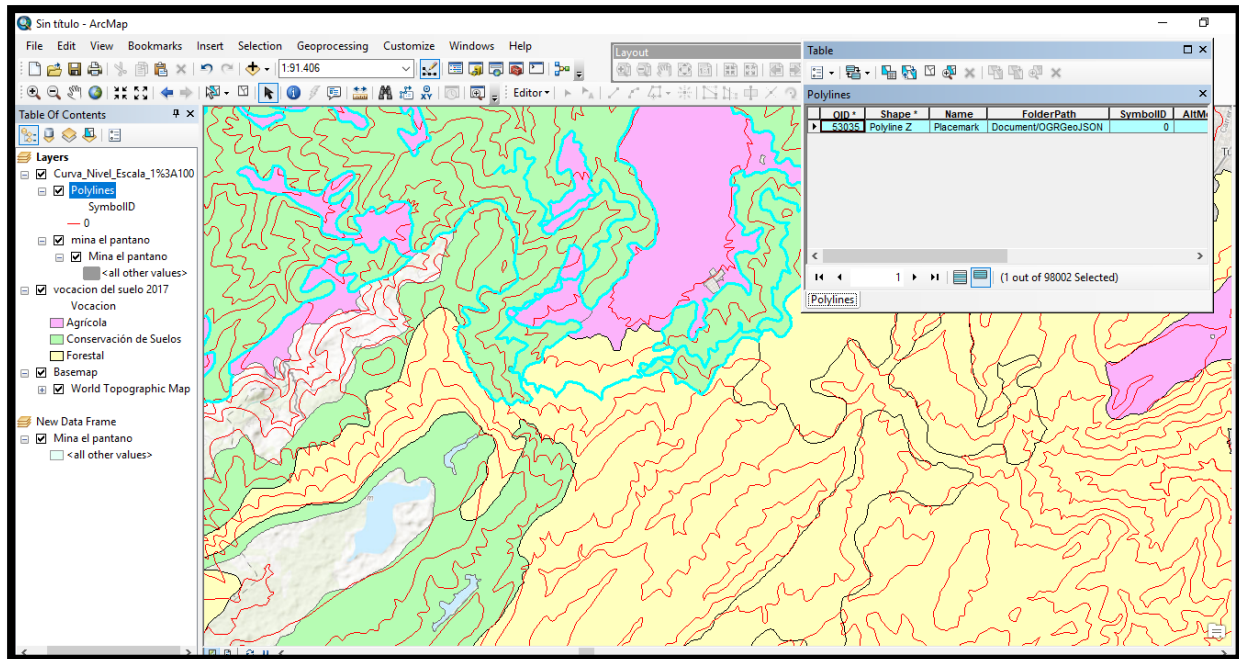
Anexo 6 cantidad de cal que se deberá implementar según pH

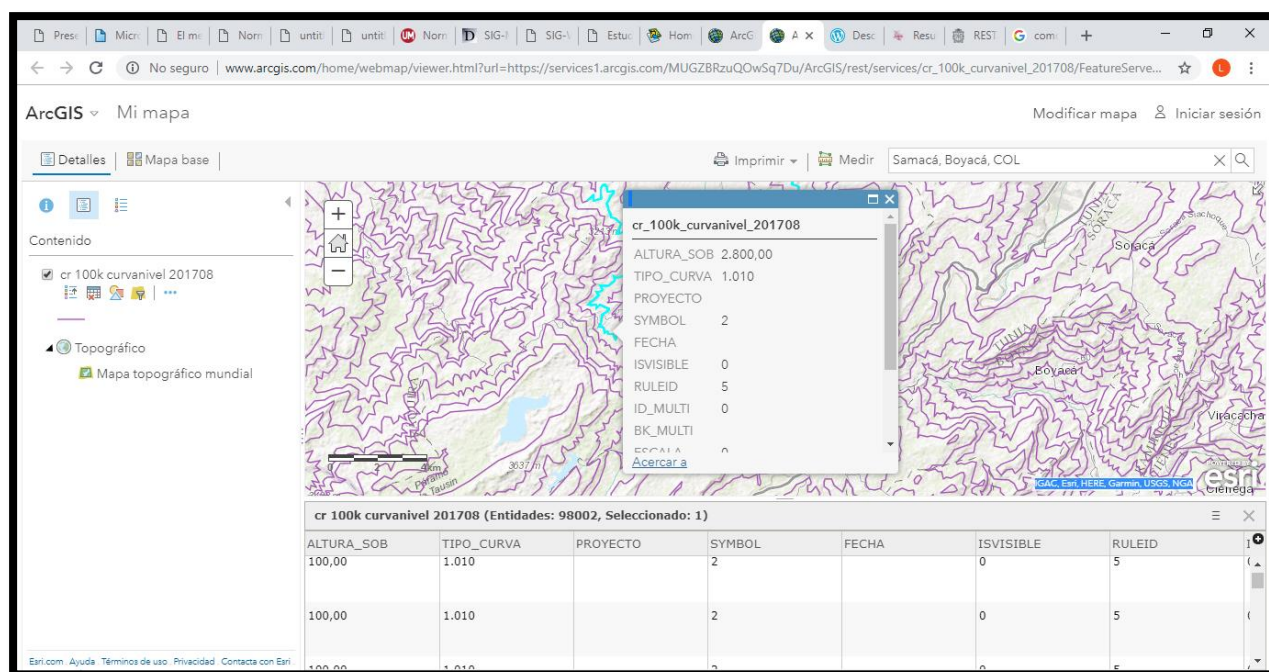
pH SUELO	ARENOSA, ARENOSA FRANCA		FRANCO ARENOSA		FRANCO LIMOSA, FRANCO ARCILLOSA, ARENOSA, FRANCA		FRANCO ARCILLOSA FRANCO ARCILLOSA LIMOSA, ARCILLOSA		ALTO CONTENIDO EN MATERIA ORGANICA	
	5,5	6	5,5	6	5,5	6	5,5	6	5,5	6
4	3,7	5	4,5	6	6,1	8,1	7,5	10	8,9	11,9
4,2	3,2	4,5	4,2	3,5	5,2	7,2	6,5	9	7,7	10,7
4,4	2,7	4	3,4	4,9	4,3	6,5	5,5	8	6,5	9,5
4,6	2,2	3,5	2,7	4,2	3,6	5,6	4,5	7	5,4	8,4
4,8	1,7	3	2,1	3,6	2,9	4,9	3,5	6	4,1	7,1
5	1,2	2,5	1,5	3	2	4,1	2,5	5	3	6
5,2	0,8	2	1	2,5	1,2	3,2	1,5	4	1,7	4,7
5,4	0,3	1,5	0,4	1,9	0,4	2,5	0,5	3	0,6	3,6
5,6	—	1	—	1,2	—	1,6	—	2	—	2,4
5,8	—	0,5	—	0,6	—	0,9	—	1	—	1,2

Anexo 7 relación de enfermedades con aumento de extracción de carbón

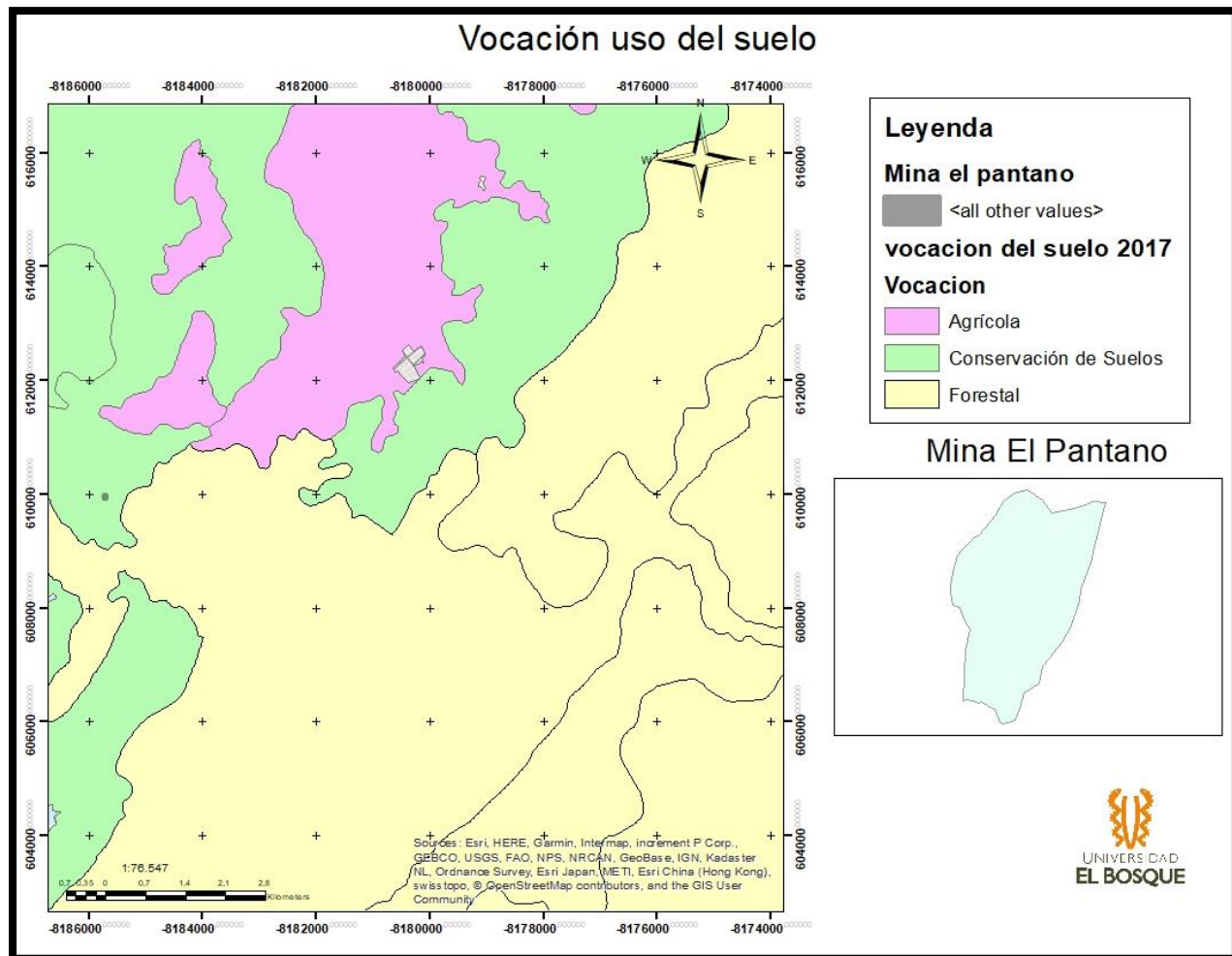


Anexo 8 ubicación curvas de nivel Mina El Pantano





Anexo 9 Vocación del suelo según IGAC



Anexo 10 tabla base para la zonificación ambiental

LEYENDA Y CLASIFICACION DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA			
CATEGORIAS (NIVEL DE DETALLE)			
1º NIVEL EXPLORATORIO	2º NIVEL RECONOCIMIENTO	3º NIVEL SEMI - DETALLE	4º NIVEL DETALLADO
1. CONSTRUCCIONES	a. URBANO	1. RESIDENCIAL 2. INDUSTRIAL 3. COMERCIAL 4. EDUCATIVOS 5. RECREATIVO	• UNIFAMILIARES, MULTIFAMILIARES, HOTELES. • TEXTIL, METALMECANICA, TRANSPORTE, ARTESANAL, FABRIL • SUPERMERCADOS, REPUESTOS, ZONAS ABIERTAS, CENTROS CERRADOS. • COLEGIOS, ESCUELAS, UNIVERSIDAD ELEMENTAL SUPERIOR • PARQUES, CINES, CLUBES.
	b. RURAL	1. NUCLEADO 2. DISPERSOS	• CASERIOS, INDUSTRIAS, PARQUES. • VIVIENDAS, GALPONES, CORRALES, BOLEGAS, INVERNADEROS.
2. CULTIVOS Y PARCELAS	a. PERMANENTES O SEMIPERMANENTES	1. IRRIGADOS 2. NO IRRIGADOS	• FRUTALES, CAÑA, CULTIVOS COMERCIALES • CAFE, BANANO, PALMA DE ACEITE, FRUTALES, CAÑA
	b. TEMPORALES	1. IRRIGADOS 2. NO IRRIGADOS	• ESPIGAS, LINEAS, FORRAJES, HABAS, TOMATES, FLORES, CULTIVOS COMERCIALES. • ESPIGAS, LINEAS, BERGAMO, ALGODON.
	c. CONFINADOS	1. HORTICULTURA 2. FLORES 3. VIVEROS	• LECHUGAS, REPOLLOS, RABANOS. • CLAVELES, ROSAS, ANURIS.
3. VEGETACION HERBACEA DESCUBIERTA	a. PASTIZALES NATURALES	1. HERBACEOS 2. ARBUSTIVOS	• GENEROS, PROTECCION, PASTOREO. • GENEROS, CARACTERISTICAS FISIONOMICAS, ESTRUCTURA FLORISTICA.
	b. POTREROS O DEHESAS	1. IRRIGADOS 2. NO IRRIGADOS	• LEGUMINOSAS, GRAMINEAS, ESPECIES. • MEZCLA, ESPECIES
	c. TUNDRAS O PARAMOS	1. HERBACEOS 2. ARBUSTIVOS	• GENEROS, ESPECIES. • PROTECCION PASTOREO
4. BOSQUES Y O MONTES	a. NATURAL	1. LATIFOLIADAS 2. CONIFERAS 3. MATORRAL	• PROTECTOR, COMERCIAL, ESPECIES, DOMINANCIA, POSICION FISIOGRAFICA, DENSIDAD, COMPOSICION ESTRUCTURAL • PROTECTOR, COMERCIAL, ESPECIES, DOMINANCIA, POSICION FISIOGRAFICA, DENSIDAD. • PROTECTOR, COMERCIAL, ESPECIES, DOMINANCIA, POSICION FISIOGRAFICA, DENSIDAD, COMPOSICION ESTRUCTURAL
	b. PLANTADO	1. LATIFOLIADAS 2. CONIFERAS 3. REFORESTACION	• PROTECTOR, COMERCIAL, ESPECIES, DENSIDAD. • PROTECTOR, COMERCIAL, ESPECIES, DENSIDAD. • PROTECTOR, COMERCIAL, ESPECIES, DENSIDAD.
5. CUERPOS DE AGUA	a. SUPERFICIES LIBRES	1. NATURAL 2. ARTIFICIAL	• LAGOS, NIEVES, HELOS. • REPRESAS, DARSENAS.
	b. FANTANOS	1. PERMANENTES 2. TEMPORALES	• HIERBAS, EUTROFICAS, ARBUSTOS • HIERBAS, ARBUSTOS.
6. TIERRAS ERALES	a. ROCAS EXPUESTAS	1. MASIVOS 2. FRAGMENTOS	• ESCALPES, INSELBERGS, ETC. • DEBRIS, COLUMBOS.
	b. SUELO DESNUDO	1. EROSION PROVOCADA 2. EROSION NATURAL 3. CANTERAS Y MINAS 4. RIBERAS Y PLAYAS 5. DUNAS	• SURCOS, CARRETERAS, MAL PIS, REMOSION EN MASA. • MOVIMIENTOS EN MASA. • ARENAS, CALIZAS, OTROS • GRAVAS, ARENAS, TURISMO.

Anexo 11 Disminución de la pendiente método de corte

